

551.49
Ч-64



У

УЧЕБНИК ГИДРОГЕОЛОГИИ.

✓
Составил П. Н. ЧИРВИНСКИЙ,

доктор минералогии и геогнозии, профессор Дон-
ского Политехнического Института.

1514-с/а



✓

ii ○ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО.

Ростовское на Дону Отделение.

1922 г.

1514

ВВЕДЕНИЕ

Гидрология и ее подразделения.

Вода в жидком, твердом и газообразном состоянии играет громадную роль в истории земной коры, жизни растений и животных. Если бы наблюдатель взглянул на поверхность нашей земли с луны, то ему прежде всего бросилась бы в глаза огромная гладкая поверхность океанов и морей. По последним подсчетам бюро международной геодезической ассоциации имеем на земле

суши 144.118.350 кв. километров

океанов 365.982.450 „ „

Всего 510.100.800 „ „

или 28,3% суши и 71,7% воды. Так как притом океаны в среднем значительно глубже средней высоты суши (приблизительно 3,7 к. м. *) к 0,7 к. м. высоты суши над уровнем океанов), то становится понятным, что суша могла бы легко уместиться под водою, если бы нашлась сила ее опустить на дно этих океанов. Так возник бы тот всемирный океан, охватывающий земной шар в виде общей оболочки, какой мыслили геологи в очень отдаленные фазы земли. Океан этот выпал из атмосферы, когда охлаждение нашей планеты достигло температуры сгущения (конденсации) водяных паров. Прошли миллионы лет, суша отграничилась от океанов и морей, но с тех пор борьба между ними не умолкала ни на минуту. Мы это видим не только по побережьям наших современных морей и океанов, в деятельности рек, но видим записанным на каждом шагу в толще земных пластов: так называемые осадочные породы (глины, пески, известняки и др.), содержащие остатки морских организмов, возникли некогда из морских вод. Так же неизменно продолжала работать солнечная теплота, бывшая двигателем для воды в верхние слои атмосферы путем испарения, давшая начало всем разнообразным воздушным течениям (ветрам) и громадной массе морских течений, играющих в свою очередь такую крупную климатологическую и биологическую роль в режиме земной поверхности.

Если мы даже немного опустимся в толщу земной коры и главное выйдем из оболочки осадочных и метаморфических пород, то встретим породы расплавленные, где вода может находиться лишь в форме диссоциированного на гидроксил и водород газа. Причиной этому будет высокая температура. Возможно, что на глубине около 30 (—50) километров температура эта уже превосходит температуру плавления всех известных нам пород, особенно если принять в расчет, что вода должна способствовать более легкому размягчению этих пород.

Мы перейдем в область, так называемой, магмы, которая мыслится нами залегающей в виде сферы (пиросфера, т. е. огненная сфера).

Эта пиросфера, вероятно, составляет очень небольшую часть земного радиуса и является общим резервуаром, который питает наши вулканические очаги и горячие источники. Магма в целом имеет удельный вес уже выше (вероятно не менее 3,1) нежели породы коры, а тем более нежели вода (уд. в. 1, гидросфера) и атмосфера в свою очередь распадаящаяся на ряд оболочек убывающей плотности и изменяющегося состава (от смеси азота с кислородом через азот к водороду и легчайшему газу геокоронию). Роль удельного веса в расчленении атмосферы и в предельности высот облаков (тропосфера, около 11 км.) сказывается весьма отчетливо. В свою очередь ниже пиросферы, повидимому, идут уже твердые породы огненного происхождения.

*) 1 километр=0,937 версты (1 верста=1,067 километра)=1000 метров

ближе к составу различных падающих к нам с неба осколков горных пород (метеоритов). Уд. в. этих пород возрастает по мере движения вглубь земного шара. Возникает, что все они находятся в твердом состоянии. Породы эти чем глубже, тем больше и больше содержат в себе металлического железа с примесью никкеля. Этим объясняется тот факт, что средний удельный вес земли очень высок: 5,5 (у никкельстого железа он 7,7). Ниже пиросферы, т.-е. на протяжении не менее чем 6300 км. *) до центра земного шара, вода или продукты ее диссоциации не играют никакой роли: свободный кислород не способен существовать наряду с металлическим железом, водород, если имеется, то в ничтожном по весу количестве, как это и доказывают анализы метеорных камней, возникших при механическом разрушении какой-либо планеты или, вероятнее всего, при отшнуровывании от земли луны в космическую стадию их истории. Вот почему, если высчитать химический состав земного шара в целом, то на долю воды, как таковой, придется исчезающе малое количество и мы, живущие на поверхности земного шара, получим лишнее предостережение не судить о вещах только потому, что привыкли видеть близ себя.

Вот цифры, вычисленные мною при известных допущениях и дающие нам представление о среднем химическом составе земного шара:

	Вес. $\frac{\circ}{\circ} \frac{\circ}{\circ}$	Атомн. $\frac{\circ}{\circ} \frac{\circ}{\circ}$
Железо	69,79	50,45
Никкель	6,25	4,30
Кремний	5,82	8,27
Кислород	11,28	28,46
Магний	4,28	5,40
Кальций	0,52	0,53
Сера	0,66	0,83
Алюминий	0,44	0,65

и т. д.

Все остальные элементы (кобальт, хром, марганец, натрий, калий, фосфор, титан, углерод, медь, водород и пр.) присутствуют в количествах ниже полупроцента. Вода или продукты ее диссоциации при высоких температурах могут становиться объектами нашего непосредственного изучения на глубины до 1—2 км. в толщу земного шара, на поверхности земли (океаны, моря, озера, реки, источники, грунтовые и артезианские, минеральные воды, выделения из кратеров вулканов, далее различные виды осадков — снег, иней, град, дождь, роса и т. д., лед водоемов, рек, ледники, мерзлота) и наконец над землею — в атмосфере до средней высоты в 11 километров (тропосфера **) , выше каковой образования облаков не наблюдается.

Вода, как геологический фактор, и замыкается в указанных нами пределах, причем имеет, теоретически говоря, круговорот (цикл) одна сторона которого коренится во мраке „подземного царства“, а другая возмывается над землею в царство солнца и света. Химическая роль воды громадна особенно в ее корнях (вода магматическая, ювенильная), роль эта слабеет по мере поднятия выше, где температура падает. Здесь выдвигается деятельность воды преимущественно механического характера, выражающаяся в размыве и намыве, переносе и переотложении разного рода осадков (песка, ила и т. д.), более замедленным темпом идут однако и химические превращения, в разрыхлении горных пород — в их „выветривании“. Образуется кора выветривания с ее своеобразным режимом, противопоставляемая скорлупе из пород метаморфических, пород плотных, кристаллических, возникших частью из осадочной толщи, но под действием водяных паров и газа в условиях высокого давления и

*) Экваториальный радиус земли (большая полу-ось) = 6378 км., полярный радиус (малая полу-ось) = 6356 км.

**) Тропос по гречески значит поворот; поворотная сфера, т.-е. сфера, выше которой не идет вертикальная циркуляция воды в атмосфере.

температуры, характерных для более глубоких зон. В атмосфере мы имеем почти исключительно воду, испарившуюся с поверхности океанов, морей и суши и образующую уже достаточно замкнутый круг, корни которого проникают обычно не ниже уровня так называемых артезианских вод.

Ближе к поверхности задегают так называемые грунтовые воды, связанные особенно тесно с факторами метеорологическими данного места.

Из сказанного видно, что вода, кругообращаясь от расплавленной магмы до холода высоких слоев атмосферы, должна характеризоваться очень своеобразным режимом в зависимости от того, где она находится. Иначе говоря, гидрология (hydor—вода, logos—речь), или наука о воде должна ветвиться на много специальных отраслей, между собою однако тесно связанных.

Гидрогеология или наука о воде и ее режиме под землей представляет часть гидрологии. Последняя, если оставить в стороне учение о физике и химии воды, т.-е. учение о воде, как о веществе, состоит вообще говоря из таких специальных отделов:

- 1) гидрометеорология (вода в атмосфере) и гидроаэрология (вода в верхних слоях атмосферы),
- 2) океанология (учение об океанах и морях),
- 3) лимнология (учение об озерах: limnos—озеро),
- 4) гляциология (учение о ледниках, glacies—лед),
- 5) потамология (учение о реках, potamos—река),
- 6) гидрогеология (учение о подземных водах: грунтовых, артезианских и минеральных).

Из них №№ 2, 3, 4 и 5 трактуют о воде на поверхности земли *).

В понятие „гидрогеология“ редко вводятся хотя бы основы учения о рудных скоплениях, возникших очень часто путем отложений из горячих вод в минувшие геологические периоды. Избегают говорить также о явлениях контактового и регионального метаморфизма, перекристаллизации, широко идущей под действием воды даже в нормальных осадочных породах (окремнение известняков, образование песчаников, процесс окаменения остатков флоры и фауны) и выветривании. Объясняется это известной рутинностью и отчасти практическими соображениями: быть ближе к запросам водоснабжения, а не уклоняться к вопросам геофизики и геохимии воды, чем больше интересуются минералог, петрограф, геолог и отчасти почвовед.

Общее количество подземных и надземных вод.

Количество этих вод можно попытаться вычислить, но вычисление это будет очень неточно. Нужен ряд оговорок. *Сликтер* пытается вычислить количество вод, могущих свободно передвигаться по пустотам и трещинам. Последние могут существовать в земле якобы не глубже 9—10 км. от поверхности—на этом уровне громадное давление вызывает в породах пластичность, отчего трещины и пустоты замыкаются (заплавывают). Среднее количество пустот и трещин принято равным 10% полного объема пород. Весь этот объем будто бы выполнен водою. Количество воды в этом случае должно составить около одной трети находящейся в океанах. Это количество могло бы покрыть земную поверхность слоем около одного километра глубиной. Главная здесь ошибка та, что породы даже пористые и трещиноватые не бывают выполнены водою нацело—вода стремится образовывать изолированные горизонты и иногда даже способна как-бы висеть без всякого упорного слоя в породах водонепроницаемых (об этом подробнее будет сказано ниже, когда будет идти речь о происхождении под-

*) Более дробные деления см. в заметке проф. В. Г. Глушкова, О гидрологии, журнал „Гидрологический Вестник“, Петроград. 1915, № 1, стр. 1—3, год изд. 1.

земных вод). Если поэтому расчет для количества капельножидкой воды, как его нам дал Сикатер, должен считаться преувеличенным, то он едва-ли будет таким, если мы обратимся к учету воды химически связанной главным образом в глинах или растворенной в магмах. Таким по подсчетам моего брата В. Н. Чирвинского в смеси сделанной из осадочной толщи г. Киева с соблюдением отношений мощности отдельных пластов связанной воды получено 3,50% по весу, из которых 2,79% связано настолько прочно, что для ее удаления требуется прокаливание. По объему в жидком состоянии количество это, должно быть, по крайней мере удвоено, ибо удельный вес воды раза в 2—2,5 менее такового же пород осадочных (песков, глины и т. д.). Так как эта цифра получена для большой мощности пород (в Киеве она может считаться около 200 сажен), то она заслуживает полного вашего внимания. Этот способ подсчета среднего состава пород данного места может быть применен к любой глубокой буровой скважине, из которой сохранились по порядку образцы с показанием мощности отдельных слоев. Более кропотлив способ вывода валового состава для какого-либо разреза пород, если анализировать порознь породу из каждого пласта. Надо знать при этом и мощность этих пластов.

Для района города Кисловодска можно проделать и этот расчет. Остановимся здесь только на содержании воды в воздушно-сухих образцах, взятых из толщи пород обнаженных вдоль реки Аликоновки (толща эта мелового возраста и подстилается юрскими породами, анализы которых отсутствуют). Мы здесь имеем (сверху вниз):

		В % от		Воды % по весу	Произведенное
		мощности			
Известняки	106 саж. (приблиз.)	25,18	×	0,37	= 9,3166
Глины	13 "	3,09	×	10,43	= 32,2287
Песчанники	242 "	57,48	×	3,50	= 201,1800
					(в среднем)
Известняки и доломиты	60 "	14,25	×	0,52	= 7,4100
	421 саж.	100,00	×	2,501353	= 250,1353

Таким образом здесь содержание связанной и гигроскопической воды ниже, нежели в породах Киева (2,50% вместо 3,50%). Объясняется это тем, что количество песков, глины и суглинков по отношению к известнякам в Киеве значительно больше *), нежели в Кисловодске, где отношение это близко к 3:2 **).

Что касается пород изверженных, то in statu nascenti (в магмах) содержание всех продуктов диссоциации воды (водорода и гидроксильных групп) может быть довольно значительным. При падении же давления по мере движения магмы ближе к поверхности по трещинам разломов и по мере хода кристаллизации, количество это становится все меньше и меньше и только минералы с гидроксильными группами (таковы, напр., слюды) указывают на некогда бывший здесь процесс. Это, так сказать, окаменевшая конституционная вода.

Подобная же вода фиксируется в распространенных минералах метаморфических пород (в слюдах, хлоритах, эпидоте и др.). Судя по средним цифрам анализов господствующих на земле пород из группы изверженных, именно гранитов, воды в них всего 0,78% (среднее из 236 анализов), т.-е. уже значительно меньше, нежели в осадочной толще, возникшей главным образом на счет разрушения этих пород (полевые шпаты перешли в глину, а кварц образовал пески).

Вся масса морской воды занимает объем около 1417,4 миллионов куб. кило-

*) В Киеве к известнякам может быть причислен только мел. Его средняя мощность по данным буровых скважин всего около 6 саж.

**) Для простоты я считаю объемные и весовые отношения между породами разреза одинаковыми.

метров, что составляет $1/764 = 0,0013\%$ объема земного шара или $1/4280 = 0,00023\%$ веса земного шара (О. Лукашевич). Если прибавить сюда воду подземную (не более $1/3$ океанической) и воду атмосферную (ежегодно поднимается 0,4 миллиона куб. км. воды), то все же *относительное содержание по весу воды в земном шаре будет ничтожно: не более 0,0003%*. И вместе с тем не будь этих 3 десяти тысячных процента воды не было бы жизни на земле, по крайней мере в том виде как мы ее знаем — была бы та могильная тишина среди кратерного ландшафта погасших вулканов, которая царит на холодной луне.

Водоємкость и водопроницаемость.

Классификация горных пород по этим свойствам.

Водоємкость или влагоємкость есть свойство того или другого тела (горной породы в частности) удерживать известное количество воды благодаря своей пористости. Водопроницаемость (водопроводимость) тела (породы) характеризует способность пропускать воду. Эти понятия будут определены нами ниже более точно, теперь же мы ограничимся лишь сопоставлением их, правда чисто формальным, с теплоємкостью тела и его теплопроводностью: тела теплоємкие обычно обладают малой теплопроводностью и наоборот. Так типичные металлы мало теплоємки, но проводят теплоту хорошо. Глины и мелкозернистые пески показывают значительную влагоємкость и малую водопроницаемость. Таким образом эти два свойства до известной степени (см. ниже) являются противоположными. Значение их в учении о подземных водах весьма велико. Пористость породы зависит от размеров, формы и расположения входящих в нее компонентов. Так как запасы и движение воды в осадочной толще, если движение это не идет по трещинам, являются прежде всего связанными с пористостью пласта (породы однородно-проницаемы), в котором вода заключается, то мы постараемся прежде всего остановиться на некоторых теоретических соображениях. В виде первого приближения уудобим зерна песка идеальным шарикам одного и того же диаметра (дробь). Допустим, что эти шарики уложены правильными слоями, причем расположение их будет отвечать максимальной плотности. Математически это будет достигнуто тогда, когда центры каждых четырех взаимно смежных шаров расположатся по вершинам правильного тетраэдра (четырехгранника, грани которого одинаковые равно-сторонние треугольники). Отношение объема шаров к объему пространства, занимаемого ими, может быть, напр., определено таким образом. При нашем расположении каждый шар имеет 12 точек касания — 6 с шарами одинакового с ним слоя и по 3 с шарами выше и ниже лежащими. Если через эти точки касания провести касательные плоскости, продолжить их до взаимного пересечения, то получится отрезок пространства в виде ромбического додекаэдра (додекаэдр — двенадцатигранник, ограниченный одинаковыми ромбами). Можно вычислить, что отношение объема шара к объему додекаэдра, в котором вписан этот шар, будет величиной постоянной и составит 0,74. Иначе говоря независимо от числа шаров и их размеров на долю пор между шарами, уложенными возможно плотно, придется всегда 0,26 (или 26%) взятого объема в куче этих шаров.

Этот вывод можно проверить, измеряя объем воды наливаемой для заполнения пор в дробь насыпанной до верха в стакан. Число 26% от общего объема дробы будет минимальная величина, которая может быть получена в этого рода опытах. Шары могут быть уложены однако и иначе, а именно так, что центры их разместятся по вершинам правильного октаэдра или куба. Расположение это дает уже большую пористость. Так при расположении шаров по кубу (положение неустойчивое) получается пустот около 48% (отношение объема шаров к объему одного кубического метра 0,52). Близкую к этой величине предельную цифру можно получить, экспери-

ментария с стаканом и дробью, как и было указано выше. Принятые нами способы группировки шаров позволяют вычислить как должно идти в каждом из этих идеальных случаев просачивание (фильтрация) воды. Так при тетраэдрической группировке шаров средняя величина пропускаемого для воды поперечного сечения составит 26% всей площади сечения, но в то же время отдельные сечения будут колебаться от 10% до 46%. Такое периодическое колебание пропускной способности фильтрующей толщи имеет большое практическое значение в процессе очищения воды от взмученных в ней частиц ила и песка и реализуется. Горн. инженер А. А. Краснопольский формулирует роль зернистого песчаного фильтра при условии указанного расположения зерен таким образом. „Фильтр этот действует не только как сито, не пропускающее тех частиц мути, которые по размерам своим больше площади наименьшего поперечного сечения промежутка между шарами *), но и как прибор, в котором происходит правильное периодическое изменение скорости движения воды, и, вследствие сего отложение взвешенных в ней частиц мути“. При кубическом расположении шаров получаются сквозные через все слои промежутки—вода проходит как-бы через сито и условия ее очищения будут хуже.

Водоёмкость выражается весовым (объёмным) количеством воды, могущей удерживаться данной породой, выражается в процентах от веса (или объёма) сухой породы. Нередко ее выражают также числом литров воды на 1 куб. метр (1000 литров) породы. Очевидно если удастся заполнить все поры и трещины породы водою, то понятие о водоёмкости отождествится со степенью ее пористости. Коэффициентом пористости называют отношение всех пустот в породе к объёму. При определении уд. в. горных пород или минералов можно заметить, что без кипячения воды с погруженным в нее телом удельный вес последнего всегда оказывается ниже, нежели после такого кипячения.

Явление это объясняется пористостью взятых объектов, у которых часть пор и тончайших трещин остается не заполненной водою вследствие того, что в них заключен воздух, а вытеснение его водою при обыкновенной температуре и давлении идет особенно медленно. В разреженном пространстве равновесие достигается много скорее.

Этим объясняются нередко разницы в цифрах уд. в., найденных для одного и того же объекта разными наблюдателями. Насколько медленно может идти процесс просачивания в мелкопористую породу (слабая водопроницаемость) при атмосферном давлении, показывают следующие наблюдения над изменением цифры уд. в. осколков диорита ***).

Осколки эти были мелкие в количестве около 42 грамм. Опыт продолжался 524 дня, причем постоянство цифры уд. в. было достигнуто за срок более одного года (около 400 дней). Надо при этом сказать, что после многих опытов перед взвешиванием производилось кипячение и все наблюдения относились к одной и той же температуре (20°C).

Всех взвешиваний за 524 дня было сделано 54.

Дни	Уд. в. (20°C) диорита.
1	2,7861
10	2,7958
20	2,8007
30	2,8084
40	2,8248

*) Оно равно $0,04 d^2$, где d —диаметр каждого шара.

**) Это так называемая наибольшая или полная водоёмкость (влагоёмкость).

***) Глубинная изверженная порода, состоящая главным образом из плагиоклаза и роговой обманки.

300	2,8425
335	2,8437
437	2,8466
523	2,8466 (постоянная цифра).

Иначе говоря, получается разница в 0,0605 цифры уд. в. Это значит, что один куб. см. диорита, весивший 2,7861 гр. в сухом состоянии *) способен впитать 0,0605 гр. воды в свои поры и капиллярные трещины.

$$0,0605:2,7861=x:100,$$

$$x=2,17\%,$$

что и выразит его (полную) водоемкость.

Нужно сказать, что для кристаллических пород эта цифра еще велика. Так вообще граниты, диориты, сливные песчаники и плотные сланцы часто имеют водоемкость менее 1% или 10 куб. см. на литр (1000 к. см.). Это все породы водонепроницаемые, если только в них нет трещин (в последнем случае породы неоднороднопроницаемые). Тем не менее даже ничтожная степень влажности может изменять свойства пород в смысле способности их к обработке, раздавливанию и т. д. Так многие известняки в слегка влажном состоянии могут сравнительно легко пилиться, выпутые же из каменоломни и полежавшие на воздухе они становятся значительно тверже. Отчасти этот процесс связан с изменением каллоидальных свойств глинистых примесей.

Белый пишущий мел представляет собою породу влагоемкую, но способную в намокшем состоянии медленно пропускать воду. Во влажном состоянии (в естественных разрезах) мел, хотя и не содержит глины, показывает известную пластичность — при ударе молотком получается пластическое вдавливание. Влагоемкость мела может колебаться от 14% до 44% (от 140 до 440 литр. на куб. метр). Глины очень жадно поглощают воду и увеличиваются при этом в объеме. Такая пластическая масса, будучи вполне насыщена водою, становится неспособной ее пропускать. Глина — порода водонепроницаемая или, как еще говорят, *водоупорная*. Это свойство глины играет огромную гидрологическую роль и служит причиной расслоения подземных вод по горизонтам, причем самая вода сосредоточивается в породе пористой или трещиноватой (водопроницаемой), обычно чередующейся с пластами глин. Полная влагоемкость суглинков (смеси глины с песком и пр.) и глин колеблется обычно от 30 до 50%. Громадной влагоемкостью обладает торф (100—1500% по весу), в меньшей степени бурый уголь и перегнойные породы. В частности торф в торфяных болотах играет роль природной губки, которая при спаде вод регулирует сток, крайне медленно отдавая воду. Насколько медленно идет этот процесс, можно видеть по такому примеру. Иногда можно выкопать в торфянике на несколько метров ниже уровня грунтовых вод яму и она тем не менее долго остается сухою. В то же время старая яма, находящаяся рядом с новою, может быть заполнена инфильтрованной водою доверху. Заполнение ямы водою может тянуться не только днями, но даже неделями. Влагоемкость сфагновых (*Sphagnum* — особый род мха) торфяников нашего севера объясняется наличием в слагающих их видах мха особых клеток, задерживающих воду. Этими свойствами торфов объясняется трудность дренажа торфяных болот, особенно сфагновых.

Что касается песков или их смесей с глиною (через супесь до суглинка), то в общем можно сказать, что с уменьшением их зерна коэффициент пористости или полная их влагоемкость увеличивается.

У булыжника влагоемкость, смотря по крупности камня, колеблется в пределах 16—32%, у галечника она же 35%, а у песков от 36% (диаметр зерен 2—4

*) Я делаю допущение, что при первом взвешивании пропитывание еще не успело наступить. Это будет тем вернее, чем больше взятый для опыта кусок породы.

мм.) до 42% (диам. зерен менее 0,25 мм.) и даже больше. Обратно: вес одного и того же объема песка при дальнейшем измельчении будет становиться все меньше и меньше. Очень мелкие пески (0,1—0,2 мм.) особенно глинистые будучи насыщены водою становятся породой водоупорной. Все пески с более крупным зерном являются водопроницаемыми.

В них сосредоточиваются нередко подземные воды. Если сечение водоносного пласта обозначить буквою S, а коэффициент пористости через e , то eS —будет средней величиной свободной для прохода воды профили. Влагоемкость сыпучей породы на практике можно определять так. В небольшой металлический (цинковый) цилиндр (напр. высотой 18 см., диаметр 4 см.), закрытый снизу густой металлической сеткою, насыпают некоторое количество сухой испытуемой породы. Зная вес цилиндра пустого и с породой вычитанием определяют вес породы, смачивая ее производят водою, для чего ставят цилиндр в плоскодонный стеклянный сосуд. Сетка закрывает не самую нижнюю часть цилиндра, а приподнята над ним на некоторую высоту (2,5 см.), отчего при погружении в воду, вода будет подниматься вверх в силу капиллярности и в то же время иметь всегда свободный сток. Можно пользоваться несколькими такими цилиндрами, помещая их в вертикальном положении в сосуд и закрывая одним стеклянным колоколом (прибор *Ваншаффе*). Взвешивание цилиндров с увлажненным материалом даст нам возможность определить влагоемкость при свободном стоке или как ее называют *влагоемкость неполную—капиллярную, абсолютную* *). Тогда полная влагоемкость будет влагоемкость при отсутствии стока, когда поры породы заполнятся водою нацело, чего не будет в случае удержания воды породой лишь силами капиллярными **).

О уменьшении диаметра зерен сыпучих пород абсолютная их водоемкость увеличивается. Так для кварцевого песка по *Майеру*:

Диаметр зерен.	Абсолютн. водоемкость.
2,7 мм.	7%
0,9 „	14%
0,3 „	45%

Знание величин этих двух видов водоемкостей позволяет нам вычислить количество воды, которое может дать порода самотеком. Так для песка, по *Майеру*, имеем:

	0,3 мм.	2,7 мм.
Полная водоемкость	49%	38%
Капиллярная	45%	7%
	<hr/> 4%	<hr/> 31%

Цифры эти ясно показывают, что мелкозернистые плавунны, хотя и богаты водою, но для цели водоснабжения много менее пригодны, нежели крупнозернистые. Неудобно в них ставить и фильтры, которые скоро засоряются, засоряются и трубы.

Капиллярное поднятие.

Мы уже видели, что сухая порода вследствие явления капиллярности (волосоности, *sarilla*—волос) способна впитывать воду снизу, т. е. заставляет ее двигаться наперекор силе тяжести. Заклинивание водных пленок прежде всего будет наблюдаться в местах соприкосновения между собою зерен породы. Капиллярные пленки должны облекать и самые зерна кругом. Эта капиллярная влага удерживается за известным пределом настолько прочно, что становится недоступной корневой системе ра-

*) Французы только такую влагоемкость (*saracité*) и определяют.

**) На практике полную влагоемкость рыхлых пород обычно определяют приливая воду сверху в цилиндр или на фильтр в воронке. Следовательно сток существует. Способ определения неполной влагоемкости тоже не безупречен (см. главу—капиллярное поднятие).

стений. Следы этой капиллярной циркуляции минерализованных вод в рыхлых породах нередко выражаются их цементированием и перекристаллизацией. Так, напр., сыпучие пески с течением времени могут превратиться в песчаники с различным цементом из кремниевой кислоты, фосфата кальция, окислов железа и т. д.

При изучении шлифов из таких песчаников под микроскопом нередко бывает легко уловить, что цемент этот состоит из оболочек, сложенных в свою очередь из других более тонких того же состава, возникших очевидно последовательно из водного раствора. Любопытно, что между зернами могут оставаться пустоты там, где зерна эти непосредственно не соприкасаются друг с другом. В других случаях поры эти выполняются несколько иным веществом и обычно более загрязнены примесями. Конечно кроме капиллярной влаги в этом процессе должна играть и капельножидкая вода, способная просачиваться. Если взять стеклянные трубки *), наполнить их испытуемой рыхлой породой и погрузить одним концом в воду, то легко наблюдать, как вода будет впитываться и подниматься в трубке. Замечено, что вода поднимается тем выше, чем уже капиллярные ходы взятой породы. Вот данные для песка различной крупности:

5,0—2,0 мм.	2,5 см.
2,0—1,0 „	6,6 „
1,0—0,5 „	13,1 „
0,5—0,2 „	24,6 „
0,2—0,1 „	42,8 „
0,1—0,05 „	105,5 „
0,05—0,02 „	186,0 „ (т. е. более 2 ¹ / ₂ арш.).

В щебне и гравии капиллярное поднятие прекращается (мы видели, что в крупнозернистом песке 5,0—2,0 мм. оно было всего 2¹/₂ см.).

В глинистых породах, особенно содержащих перышку, оно достигает 2 метров (3 аршина) и даже более. Высота капиллярного поднятия в торфе 80 см. Влажность почвы на различных высотах в трубках постепенно уменьшается кверху. Подъем совершается вначале быстрее, и равновесие достигается нередко через большой промежуток времени (иногда десятки дней) **). Поднятие тем быстрее, чем больше грубых частиц в породе и тем выше, чем больше тонких частиц.

Скорость поднятия воды с повышением температуры повышается, а высота поднятия понижается. Поднятие тем быстрее и полнее, чем влажнее порода ***). Поднятие всего быстрее в тонком кварцевом песке, далее в гумусе; всего медленнее в глине. Влияние чередования слоев: поднятие и опускание воды легче происходит из грубозернистого слоя в тонкозернистый, чем наоборот. Соли замедляют капиллярное поднятие воды.

Капиллярное поднятие играет огромную роль в деле питания растений на счет воды поверхностных грунтовых вод. В свою очередь растения передают грунтовые воды в значительной мере за счет капиллярных свойств своих сосудов выше по стеблю, частью утилизируют их, а большую часть испаряют листьями (транспирационный ток). Вот почему в трудах ботаников—физиологов и гидролог может найти для себя много поучительного. В частности таковы работы о движении воды в растениях, принадлежащие Е. Ф. Вотчалу (1897) и киевскому ботанику А. М. Левину (1911), о которых подробнее будет сказано ниже.

*) Не капиллярные, ибо в них будет свой собственный подъем. Обычный диаметр трубок в таких опытах 1,5—2 см. при длине в 1—2 метра.

**) При определении капиллярной водоемкости это надо иметь в виду.

***) Явление этого рода объясняется наличием в породе разного количества пузырьков воздуха (см. ниже в работе А. М. Левина).

Гигроскопичность пород.

Гигроскопичность породы есть способность сгущать (конденсировать) пары воды на своей поверхности и в порах, повышая запас своей влажности, следовательно, не только за счет капельно-жидкой, но и парообразной воды. Из химии нам известно много веществ настолько сильно гигроскопичных, что они расплываются на воздухе и потому должны сохраняться в плотно закупоренных (даже залитых парафином) сосудах. Такова, напр., негашенная известь, безводный хлористый кальций и магний, хлорное железо и др. Среди породообразующих минералов известно мало сильно гигроскопичных—таковы некоторые двойные соли, сопровождающие соль поваренную и вызывающие ее гигроскопичность.

Тем не менее гигроскопичность при образовании подземных вод, по мнению некоторых авторов, играет большую роль и потому на этом свойстве мы несколько остановимся, приведя цифровые данные.

Исследования <i>Троммера.</i>	100 весовых частей почвы поглотили паров воды через—часов (°/о °/о)			
	12	24	38	72
Меловая почва	0,2	0,2	0,25	0,25
Доломитовая	1,6	2,0	2,5	2,8
Глинистая почва	3,5	4,0	4,4	5,5
Тоже другая	3,0	4,1	4,8	5,0
Исследования <i>Шюблера.</i>				
Кварцевый песок*)	0	0	0	0
Известковый песок	0,3	0,3	0,3	0,3
Гипс	0,1	0,1	0,1	0,1
Тошная глина	2,1	2,6	2,8	2,8
Жирная глина	2,5	3,0	3,4	3,5
Глинистая почва	3,0	3,6	4,0	4,1
Мел в порошке	2,6	3,1	3,5	3,5
Гумус	8,0	9,5	11,0	12,0
Садовая почва	3,5	4,5	5,0	5,2
Полевая почва	1,4	1,9	2,0	2,0

Для одной торфяной почвы *Гейнрих* нашел гигроскопичность 42,3°/о.

Шумахер встречал глинистые почвы, богатые гумусом, гигроскопичность которых достигала 8°/о; песчаные почвы, богатые гумусом, имели гигроскопичность в 7°/о. Для сельского хозяина важно иметь в виду, что солома очень гигроскопична (через 7¹/₂ час. опыта до 29 и даже 45°/о; в почве она часто встречается в виде неразложившихся растительных остатков и как составная часть навоза). Гигроскопичность понижается с повышением температуры (при 100° С начинается кипение воды) и повышается до определенного максимума с ее падением. Чем больше влажность воздуха, тем больше поглощает гигроскопичной влаги и почва. При этом поглощении почва повышает свою температуру, ибо выделяется скрытая теплота испарения воды. Особенно поучителен опыт *Бабо*. Он поместил высушенную при 100° перегнойную почву в холщевой мешочек и опустил в нее термометр. Мешочек помещенный в просранство, насыщенное водяным паром, показал в несколько минут повышение с 20° до 30° Ц.; в песчаной почве с 20° до 27° Ц.

Гигроскопичность почв некоторые авторы ставят в связь с их способностью образовывать росу, увеличивающую количество грунтовых вод без выпадения осадков в виде дождя или снега.

Опыты проф. *П. Ф. Баракова* в лизиметрах (об этих приборах см. ниже) показали, что в холодные месяцы замечается сильное конденсирующее действие у

*) По *Генришу* крупнозернистый песок имеет гигроскопичность 1,15°/о.

гравия и частью у песка и других почв. Цифры его таковы.

	Поступило в лизимеры	Просочилось:	
	осадков.	милл.	в ‰ ‰
В гравие в октябре 1904 г.	9,3	35,2	378
„ ноябре „	26,9	41,3	154
„ октябре 1905 г.	39,3	53,9	137
„ ноябре „	66,8	71,2	106
В песке „ декабре 1903 г.	17,9	20,9	117.

Коэффициенты стока, испарения и поглощения.

Для гидрологического исследования данного места бывает важно оценить распределение того количества воды в виде атмосферных осадков, которые выпадают за известное время в данном месте. Этот расчет приходится делать порознь для испарения, стока и поглощения (инфильтрации). Соотношение между этими величинами, даются обычно в ‰ от общего количества выпавших осадков (коэффициенты) или в миллиметрах водяного столба (абсолютные величины). Расчет этот нельзя делать только на основании отрывочных и кратковременных наблюдений, ибо в течении времени (по дням, месяцам и годам) для каждого места наблюдаются иногда очень значительные колебания как в величине самых осадков, так и коэффициентов стока и испарения. Этого рода наблюдения приходится делать иногда для малых площадей, а иногда и для очень больших: иногда при постройке запруды в балке приходится определять это соотношение с целью узнать на какое количество воды в пруде можно рассчитывать при метеорологических условиях данного места, величине водосборной поверхности (бассейна данного оврага) и тем или другом грунте (иногда вода держится хорошо, в других просачивается вниз и уходит в землю), иногда подобная же задача должна быть решена для выяснения режима большого речного бассейна (Волги, Днепра, Дона и т. п.). *) Можно также пытаться решать подобную задачу для всего земного шара или для отдельных его физико-географических областей, напр., горных областей, пустынь и т. д. Во всех случаях, очевидно, приходится прибегать к метеорологическим наблюдениям. У нас в России таковые систематизируются в Главной Физической Обсерватории близ Петрограда, и в ее изданиях (в частности в атласах) желающие могут найти ценные данные**). Можно и должно, конечно, также пользоваться наблюдениями местных метеорологических станций, ближайших к изучаемой площади. Если примем среднюю величину годовых осадков на земле около 78 см. ***), то объем этой воды будет около 100000 куб. километров в год при расчете на поверхность суши (и около 300000 куб. километров на океаны и моря). Таким образом, солнечная теплота путем испарения кругообращает в год в атмосферу и обратно на поверхность земного шара около 400000 куб. километров. Из 100 тыс. куб. кил. воды только немного стекает реками в океаны и моря (не более 25‰), небольшая часть просачивается вглубь, а большая часть испаряется обратно в атмосферу.

Испарение, сток и поглощение зависят от многих факторов, значение которых не всегда удается учесть. Здесь влияют: общее количество осадков, их интенсивность и вид, температура, ветры, топографические условия (рельеф, овраги), петрографический характер пород (водопроницаемые или водоупорные), тектоника (наличие сбросов, расположение пластов пород горизонтально, под углом или в виде складок), характер растительного покрова и нек. др. Иногда на ближайших склонах одних и тех же

*) См. замечательный труд *Е. В. Отпокова*. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра (до г. Блеса) и т. д. Часть I, СПб., 1904, стр. XXXVIII+300 и часть II-я СПб., 1914 стр. IX+240+105 с табл., карт. и граф. (Изд. Отд. Зем. Улучш.).

**) Можно рекомендовать читателю статью *С. Небольсина*. Средние количества атмосферных осадков в Европейской России по наблюдениям за 1880—1912 г., помещенную в III том Геофизического сборника и в I-ом выпуске Трудов по климатологии России.

***) Это надо понимать так, что если бы вся выпавшая за год вода осадков (включая растапливший снег и т. п.) была распределена на поверхности земного шара равномерным слоем, не испарялась бы и не впитывалась, то она бы имела толщину 78 см. (780 мм.).

гор наблюдаются совсем различные гидрологические условия. Так по наблюдениям проф. *Н. А. Головкинского* на Чатырдаге в Крыму источники дают только 24,2% в сутки, а на соседнем Бабугане 42%. На северном склоне Бабугана вытекает 38,5%, а на южн. 61,5% всего количества атмосферных осадков. Очень большое значение имеет при каких условиях шло весеннее таяние снегов—происходило ли оно медленно при немерзлом грунте или шло быстро при грунте мерзлом. В последнем случае будут условия для быстрого стока воды по оврагам в реки и малого впитывания, в первом наоборот. Схообразно с этим будет колебаться уровень грунтовых вод, влажность почвы, урожайность, а разведки по учету подземных вод для целей водоснабжения веденные в разные годы могут дать очень несходные результаты. Величина стока определяется на водомерных станциях и постах. Описание методики этих измерений можно найти в курсах гидравлики, а с результатами познакомиться, напр., по труду инженер. *Гельфера* „Методы обработки наблюдений, добытых систематическими исследованиями на гидрометрических станциях 1-го и 2-го разряда и на речных постах при мельницах в бассейне верховьев реки Оки и ее притоков“ (СПБ. 1903). Укажу также на брошюру *К. М. Игнатова* „Водомеры для определения расхода воды в родниках, ключах, ручьях, дренажах и пр.“ (Москва 1914, Изд. Нижегородской Губерн. Земск. Управы).

Просачивание непосредственно можно измерять с помощью *лизиметров*. Так называют особые сосуды обычно в виде ящиков из цинка, бетона (или дерева) с дырчатым дном, покрытым дренажным слоем из гравия и песка. Сосуды эти наполняются испытуемым грунтом и выставляются или на открытом воздухе или закапываются в различных местах и на различную глубину в землю *). Если ящики эти стоят открыто на воздухе (хотя бы и врытые до верхнего края в землю), то в них можно производить посадку растений, чтобы ближе изучить их испаряющую роль. Попадающая в них вода, просачиваясь, собирается через трубки в особый сосуд и может быть измерена. Повторные анализы такой воды дадут нам еще возможность следить за ходом выщелачивания веществ из почвы, напр., нитратов и хлоридов после обильных дождей и др.

Что касается хода испарения, то оно дается ежедневными наблюдениями с испарителями (эвапорометрами) разных систем, а для испарения почв и растений получается другим путем. В этом отношении гидрологическая роль растений (травянистых и древесных) очень велика и о ней нами еще будет сказано ниже—здесь уже идет испарение не с поверхности почвы, а из глубины, откуда растения извлекают воду и транспирационным током по сосудистой системе доставляют к устьицам листьев (своего рода дренажные трубы).

Приведем некоторые цифровые данные относительно просачивания воды в почву. *Эбермайер* (1873) получил средние из данных семи баварских станций—% просоч. дождей на голой почве в поле (таб. 1).

ТАБЛИЦА 1.

Лизиметры (глубина их)	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Весна	Лето	Осень	Зима	Год
1 фут	69	56	19	20	11	21	14	60	61	95	69	77	55	19	54	94	54
2 фута	65	59	27	16	6	18	16	52	61	66	66	71	56	14	51	89	50
4 фута	75	62	44	13	7	14	6	40	65	88	103	85	64	11	49	99	53

*) Устройство лизиметров и описание многих опытов с ними интересующиеся могут найти в статье проф. *П. Ф. Баракова*, Лизиметры и их роль в изучении свойств почвы, обуславливающих ее плодородие. Журнал „Почвоведение“, 1908, № 3, стр. 173—207.

Особенно продолжительные наблюдения производились в Англии — Гревзом и Гильбертом. Гревз производил наблюдения с 1852 по 1873 г. в сосудах, поверхность которых равнялась 0,83 кв. метра, высота 0,91 метра. В сосудах, наполненных суглинистой почвой, покрытой газоном, в среднем за 1852—1873 г.г. просочилось через почву 26,6% осадков, а 73,4% — испарилось; в таких сосудах, но наполненных грубым песком, за 1860—1873 г.г. просочилось 83,3%, испарилось — 16,8% общего годового количества осадков, равнявшегося для места наблюдения в среднем 637 мм.

Гильберт заметил, что в сентябре, т. е. после относительно теплых и сухих месяцев, и до самой зимы в более высоких лизиметрах просачивается воды меньше, чем в низких, а после зимних дождей — как раз обратно. Это интересное наблюдение, может быть, возможно объяснить условиями изменчивости конденсации водяного пара, играющего несомненно роль в питании грунтовых вод (см. выше и ниже в отдельной главе — „Способы образования подземных вод“). Очень интересные данные мы можем почерпнуть из наблюдений Ретамстетской станции, где и вел их Гильберт (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2.

	Осадки в мм.	Воды в дренаже в мм.		
	По дожде- мерам	Высота лизиметров		
		0,508 м.	1,01 м.	1,52 м.
Средние годовые количества:				
За 1877—1881 г.	825	415	451	413
„ 1882—1885	708	383	405	372
„ 1886—1891	701	346	366	345
„ 1892—1897	714	366	396	384
Средн. за 20 лет:	737	381	405	378
Средн. за 4 месяца:				
Январь—апрель	192	120	135	127
Май—август	256	71	73	67
Сентябрь—декабрь	289	189	196	104
Средн. месячные:				
Январь	50	42	47	46
Февраль	48	39	43	40
Март	46	25	29	27
Апрель	47	13	15	13
Май	54	15	16	14
Июнь	56	15	16	15
Июль	70	18	19	17
Август	73	22	22	20
Сентябрь	65	26	26	26
Октябрь	85	52	53	49
Ноябрь	78	61	63	60
Декабрь	60	49	53	50

Если взять среднее из показаний трех лизиметров за 20 лет, то получим 388 мм. просочившейся воды или 52,65%.

Ответ на то, в какое время года питаются особенно грунтовые воды за счет атмосферной воды, дадут нам такие же средние за каждые четыре месяца. Это будут:

Май—август 70 мм. из 256 мм. или 27,34%
осадков за это время.

Сентябрь—декабрь 163 мм. из 289 мм. или 56,40%.

Январь—апрель 127 мм. из 192 мм. или 66,15%.

Из этого сопоставления вполне очевидна возможность знать как абсолютные величины осадков и вод просочившихся и их относительные величины (%). Так за летние месяцы (май—август) выпадает, хотя абсолютно и наибольшее количество осадков (256 мм.), но только незначительная их часть впитывается, а большая часть их испаряется. Объясняется это, конечно, более высокой температурой воздуха.

Напротив того в остальную часть года (особенно с января по апрель) идет питание грунтовых вод более интенсивное, ибо испарение затруднено.

Английские условия, конечно, нельзя считать прямо применимыми к другим странам, в частности к России, где средняя годовая ниже и где снежный покров является не эпизодом, а неизменным из года в год и длительным почвенно-климатическим фактором. *С. Н. Никитин* в одной из своих работ говорит, что „снежный покров ставит наши реки и наши подземные воды и почвенную влагу и общую водоносность страны в иные условия, чем на Западе Европы; там снег временное явление, много раз в течение зимы обращается в воду; там не знают наших половодий... там кажется совсем невероятным весенний подъем наших рек до 5 саж. над меженью, т. е. летним их стоянием, но не знают зато и того полного оскудения этих рек водою во второй половине лета особенно когда весенние условия... не благоприятствовали поглощению снеговых вод“ (о режиме сибирских рек в связи с ролью мерзлоты грунта см. ниже).

Заканчивая эту главу отмечу еще прием, которым можно пользоваться в исключительных случаях для определения просачивания в бассейнах рек или в системе оврагов. Прием этот состоит в определении меженных (низких) вод в бездождное для данного бассейна время. Здесь следовательно просачивание определяется теми же способами, как и сток. Предполагается, что водотоки питаются в это время лишь ключевыми водами. Опираясь на все наблюдения с 1876 по 1908 г. в бассейне верхнего Днепра до Киева *Е. В. Оппоков* в среднем определил сток 24,8%. Наибольшее значение годового коэффициента стока выше Киева 44%, наименьшее 13%. В общем, по его данным, колебание коэффициента стока следует за колебаниями осадков, хотя часто более обильный сток оказывается не в том году, когда выпало много осадков, а в следующем, ибо процесс кругооборота воды в бассейне не заканчивается одним годом. За эти годы с июля по февраль включительно выпадающих осадков в среднем хватает не только на речной сток и испарение, но и образуется еще свободный остаток их в виде снега зимой и грунтовых вод летом. В период с марта по июнь включительно выпадающих осадков, наоборот, далеко не хватает для покрытия нужд речного стока и испарения. В эти месяцы происходит расходование запасов от предыдущих месяцев.

Законы движения воды в песках.

Движение это идет от высшего давления к низшему и происходит со скоростью прямо пропорциональной такой разнице на единицу длины фильтрующего слоя (напорный градиент). Давление это в природе почти всегда вызывается разницей уровня воды, хотя не исключено и влияние упругости газов (последние играют большую роль в передвижении и фильтрации нефти в нефтяных месторождениях). Давление

это можно выражать различными единицами (высотой водяного столба, его весом или числом атмосфер). Простейшие формулы, сюда относящиеся, были даны в 1856 году французом *Дарси* и дальнейшие исследования внесли лишь частности. Формула для скорости фильтрующейся под влиянием давления p (или собственного веса) воды через песок будет такова:

$$v = k \sqrt{\frac{p}{h}} \quad (1), \text{ где}$$

v — скорость, k — коэффициент водопроницаемости, определяемый каждый раз особо, представляющий собою объем воды, пропускаемой через единицу профилированной длины отрезка фильтрующего слоя в единицу времени под действием напора, равного единице и h — толщина фильтрующего слоя. Из формулы следует, что если увеличить вдвое длину фильтрующего слоя, то при том же напоре и в том же песке, скорость уменьшится вдвое. Если увеличить разность давлений вдвое на концах слоя при неизменной длине, то скорость возрастет вдвое. Количество воды Q , протекающей через профиль S в течение времени t при толщине слоя h будет

$$Q = k \sqrt{\frac{p \cdot S \cdot t}{h}} \quad (2).$$

Сликтер полагает, что диаметр зерен песка особенно отражается на величине коэффициента k — скорость течения увеличивается пропорционально квадрату поперечника этих зерен. Таким образом скорость течения через песок, зерна которого имеют 1 мм. в поперечнике, будет в 10 тысяч раз больше, нежели через песок диаметром в 0,01 мм. Температура тоже влияет на скорость, именно с ростом температуры возрастает и скорость. Влияет также и способ группировки частиц в песке, ибо от нее зависят пористость (см. выше). Ниже будет показана роль воздуха, заключенного в порах. Все эти соображения позволяют развернуть эмпирический коэффициент k в формулах *Дарси* в ряд других, на чем мы однако ближе останавливаться не будем.

Опыты *Е. Ф. Вотчала* над движением воды в древесине (и песках) привели его к заключению, что причину особенностей тока следует искать в содержании мельчайших пузырьков газа *). *А. М. Левшин* позже показал тщательными опытами, что коэффициент водопроницаемости k (он обратен коэффициенту сопротивления), для случая движения воды, как в древесине, так и в песке колеблется в зависимости от степени насыщенности системы водою. Иначе говоря, он подтвердил и дополнил наблюдения *Е. Ф. Вотчала*. *Левшин* установил также следующее: проводимость сосудов древесины (или песка), выполненных водою, растет с падением напора, проводимость же сосудов, содержащих кроме того пузырьки газа, уменьшается при уменьшении напора и, следовательно, сопротивление первых при малых давлениях меньше, чем при больших, вторых же наоборот. Эти два крайние случая, очевидно, могут чередоваться в сечениях древесины или фильтрующего слоя песка и от количественного их соотношения будет зависеть тот или иной ход изменения коэффициента k . Мы можем поэтому ожидать изменения и даже обращения зависимости k от напора (p), когда опыт поставлен с системой разной степени насыщенности, длится долго или если фильтрующий слой будет укорочен. Действительно, такие наблюдения им и были сделаны. Статья *Левшина* интересна по своей методике, математическому анализу явления и точности **).

При вертикальном просачивании воды до известного уровня мы имеем, так называемый, максимальный приток. Он обуславливается полным весом воды при кратчай-

*) *Е. Ф. Вотчал*. О движении пасоки (воды) в растении, 1897, (глава VIII этой книги). Особенности движения воды в пузырьках воздуха в капиллярных трубках изучал также физик *Дармен*.

**) *А. М. Левшин*. Сопротивление древесины при фильтрации в связи с теорией движения воды в растении. Зап. Киев. Общ. Ест. 1911, т. XXI, вып. 4, стр. 1—118.

шем по вертикали расстоянии. Если вода того же водного горизонта будет подтекать, напр., к дренажной канаве с боков, то по мере удаления от канавы напорный градиент струй будет постепенно падать, ибо при том же напоре путь ее в песке будет все увеличиваться и увеличиваться. В книжке *Сликтера „Подземные воды“* (перевод, СПб. 1912, стр. 22 и 25) интересующиеся могут найти таблицу скоростей и притока воды в песках разной крупности. Здесь же указано, как вычислять приток и скорость воды в пластах определенного падения *).

В заключение приведу следующую выдержку из одной работы *Г. Н. Высоцкого* (1904).

„Всхожденность песчаных пространств с легкою проницаемостью песчаных почв-грунтов для влаги и с их низкой влагоемкостью, препятствуя далекому поверхностному стоку талых и дождевых вод, обуславливает вхождение в грунт песчаных пространств большей части влаги осадков, чем в степях глинистых, суглинистых и черноземных“. „Низкая влагоемкость песка обуславливает сравнительно малое удержание влаги в почве-грунте, вследствие чего влияние дождей на глубину промачивания бывает гораздо более значительным, чем на пространствах с высоковолагоемкими почвами-грунтами“. „Поэтому летние и ранние весенние дожди, большею частью, не оказывающие никакого заметного влияния на промачивание почв высоковолагоемких, на пространствах песчаных, напротив, оказывают весьма заметное влияние на промачивание и осырение почвы“.

Движение воды в трещиноватых породах.

Таковыми породами на практике бывают породы твердые, как из числа осадочных (песчаники, известняки, доломиты), так метаморфических (гнейсы и разные сланцы) и изверженных (граниты, сиениты, диориты, габбро, базальты, кварцевые порфиры и т. д.). Сами по себе эти породы не водопроницаемы. Передвижение воды в этих породах имеет особенности, почему нами и будет рассмотрено особо. По теоретическим соображениям **) скорость движения воды в крупно-трещиноватых породах пропорциональна не напору или уклону пласта, а корню квадратному из напора или уклона пласта. Скорость движения воды в трещиноватых породах может значительно превосходить таковую в песках. Так, скорость движения в трещиноватых известняках в окрестностях Петрограда, согласно наблюдениям геолога *Н. Ф. Погребова*, измеряется 10—12 саж. в час. Движение воды и ее распределение в трещиноватых породах в значительной степени зависят от того, насколько эти трещины велики, многочисленны и как ориентированы. Играет также роль отношение трещиноватых (водоносных) пород к водонепорным. В тех случаях, если порода равномерно проникнута трещинами и их много, то в обнажениях, напр., речной долины, можно встретить выходы ключей на разных уровнях. При бурении сверху в такой породе вода будет встречаться на определенной глубине сплошным гидростатическим уровнем, как и в песках. Иное дело будет, если трещины встречаются редко и отличаются крупными размерами.

Тогда течение по ним будет совершаться отдельными водными струями. В некоторых случаях могут образовываться подземные реки, пещеры, содержащие озера и т. д. (см. главу о карстовых явлениях). Так как отдельные трещины, как по направлению, так по размерам и водоносности могут показывать значительные различия, то при бурении по соседству двух скважин могут получиться совершенно неожиданные результаты. Иногда трещины местами закрываются благодаря закупориванию глиною, известковыми натечками (последние в карбонатных породах) и т. д. Выпадение осадков иногда может резко отзываться на уровне воды в колодцах, питаемых из трещиноватых

*) Теоретические основы явления см. в труде горн. инжен. *А. А. Краснопольского*, *Грунтовые и артезианские колоды*, СПб. 1912, в главе „Движение воды по водоносному слою“, стр. 55—67.

**) Подробное см. у *Краснопольского*, стр. 157—170.

пород. Так, при вынадевании осадков каких-нибудь 2 см. уровень в колодцах может подняться на много дециметров, чего никогда не бывает в песчаных горизонтах. Часто водоносными бывают сбросовые трещины, причем воды бывают в этих случаях восходящими. Они могут быть как пресными, так и термоминеральными. Первые наблюдаются в областях древней складчатости, напр., на Урале, в Донецком каменноугольном бассейне, вторые в областях, где проявления тектонических сил и вулканизма далеко не заглохли, как, напр., на Кавказе, в Карпатах, Андах. Кордильерах и т. д. В Донецком бассейне осадочная свита состоит преимущественно из песчаников, сланцев и в меньшей степени известняков. Наиболее трещиноватой породой и в то же время водоносной являются известняки. В меньшей степени то и другое приложимо к песчаникам, в то время как сланцы являются породой наименее богатой водой и наиболее плотной. Если известняки, напр., обширного Таганрогского округа или Славяносербского (Луганского) уезда Харьковской г. являются преимущественно водоизливающими, то песчаники нередко бывают породами водопоглощающими (для ручьев и рек). При проходке выработок в трещиноватых известняках обыкновенно наблюдается являющийся, очень бурный приток воды, но при откачке вода довольно скоро сбывает и приток становится незначительным. При проходке песчаников бурных излияний воды обыкновенно не бывает, приток более постоянный, но трудно поддается откачке. Это влияние связано с вековыми запасами вод, насыщающими пласты известняков и песчаников. Вследствие незначительной мощности и большой трещиноватости вековые запасы воды в известняках, хотя и более подвижны, но менее обильны, чем в более мощных и менее трещиноватых песчаниках. *) Связь поверхностных вод с подземными путем ухода первых по трещинам вниз, причем фильтрация может быть слабой, в некоторых случаях к тому, что в колодцах, питаемых такими водами, иногда попадаются мелкие рыбы, моллюски, ракообразные и др. Такие находки известны для артезианских вод многих колодцев Сахары, Бохума (Германия) и др.

Морфология и гидрология карстовых областей**).

Карстовые области представляют собою горные области с мощным развитием известняков или доломитов. Особенно типично проявляется их морфологический и гидрологический облик, когда породы эти непосредственно обнажаются на поверхности или очень слабо прикрыты почвенным слоем. Известняки и доломиты имеют ту особенность, что они бывают богаты трещинами и способны более или менее растворяться в циркулирующих в них водах. В этом отношении с ними имеют некоторое сходство скопления каменной соли, гипса и даже льда (ледники). Вот почему и в этих горных породах при благоприятных условиях можно наблюдать также признаки карстовых явлений. Карст типично развит в Европе на Балканском полуострове (вдоль Адриатического побережья до Греции), в северной Венгрии, в Италии, Испании, у нас особенно в Крыму, частью на Кавказе и в других местах. Под именем Карста известны горы в юго-восточной области между Италией и бывшей Австрией (Далмация). От этого имени и даны названия „карст“, „карстовые явления“ и т. д. Особенно типичен так называемый „глубокий карст“. Он наблюдается в известняковых или доломитовых породах, имеющих мощность, не прорезываемую самыми глубокими оврагами или речными долинами. У нас в Крыму (в хребте Яйлы) „мелкий карст“, ибо обнажена подошва из-

*) Подробнее на эту тему см. в труде И. С. Эдельштейна, Гидрологические исследования Славяносербского уезда 1895—1896.

**) Глава эта составлена главным образом на основании данных, приведенных в трудах А. А. Бурдюка, Карстовая область горного Крыма, Москва, 1915, (книга в 319 стр. с двумя картами и 100 рис.), его же „Карстовые явления в России“, журнал „Землеведение“ 1900, К. Кейльгак, Карстовые воды и источники (перев. с немецк.) и учебников геологии Ога (перевод с французского; есть прекрасные рисунки карстовых образований и сталактитовых пещер), П. В. Мушкетова и А. А. Зюстраницева.

вестняков (мощность до 350—400 м., обычно значительно меньше), видно их налегание на песчаники и конгломераты (водоносные породы), в свою очередь, покоющиеся на сильно смятой свите темных глинистых сланцев. К числу характерных форм рельефа (морфологии) карстовых плато, вызванных совокупным действием размывания и растворения, относятся *карры* или *шратты*, *долины*, *поля* и нек. др. Карры представляют наиболее элементарную форму рельефа, из которой, по *Круберу*, путем дальнейшего преобразования получаются и остальные отрицательные (т. е. вогнутые) формы рельефа, как то „долины“, „естественные шахты“, „увала“ (удлиненные ванны, представляющие переход к полям) и даже поля. Карровые образования—это первое, что бросается в глаза всякому туристу, посещающему вершинное плато Крымской Яйлы. Карровые поля представляют собою систему глубоких рытин и желобков, распавшихся на причудливой формы глыбы. Ландшафт дикий, пустынный и в целом крайне однообразный. „В одном месте мы видим глубокие, как-бы пожем произведенные врезы в горную породу, разделенные друг от друга довольно широкими полосами нетронутой породы, в другом карровые рытины так близко расположены друг к другу, что разделяющие их стенки представляют тонкие, заостряющиеся кверху пластинки, в третьем расположение рытин так причудливо, что вся горная порода распадается на хаос самой разнообразной формы обломков—глыб“. Иногда можно доказать, что в направлении и развитии карр играют роль трещины в известняках. „Долины“, название данное населением Крайны в быв. Австрии, суть воронки или впадины на поверхности известняковых плато. Площади, ими покрытые, часто сравнивают с еспинами. В Крыму в наибольшем количестве воронки представлены на средней террасе Чатырдага, где их число на 1 кв. версту колеблется между 30 и 50. Средний поперечник Крымских воронок 40—50 м, глубина 5—20 м. „Долины“ от блюдцеобразной и воронкообразной формы могут показывать переходы к шахтам (колодцам), заканчивающимся пещерою иногда с протекающей на дне водою или скоплениями снега. Нередко на дне такой воронки скопляются глинистые наносы, задерживаются и развивается растительность. В Австрийском карсте, а также в Боснии, Герцеговине, Черногории на дне больших долин расположены сады, огороды, поля и даже поселения. Иногда в них развиваются временные озера, еще более усугубляющие поверхностное растворение известняковой толщи и разработку воронки в ширину и глубину. В средней России размыв и растворение известковых и доломитовых толщ, прикрытых наносами, вызывает часто образование провальных воронок, которые, повидимому, не так часты в области голого и более глубокого карста (некоторые авторы, впрочем, долины считают подобными же образованиями). Образованию долин способствуют тоже системы трещин. Имя „поля“ (сербско-хорватское слово) в карстовой литературе придается большим удлиненным корытообразным ваннам с ровным дном и крутыми, иногда совершенно отвесными, стенками. По дну их местами текут реки, питаемые источниками, но потом скрываются в „поморах“. Повидимому эти образования связаны с ходом сбросовых трещин. В каменистых и безводных местностях карста поля являются наиболее культурными и населенными участками (отсюда и самое названия „поля“, т. е. поля).

Площадь больших полей может достигать 100 и более кв. км.

Воды в карсте почти исключительно подземные, ибо трещины в известняке не позволяют удерживаться выпавшим атмосферным осадкам на поверхности. Двигаясь по системе трещин они мало-по-мало растворяют и тем расширяют эти трещины. Вследствие комбинированного действия механического и химического возникают местные уширения пустот, доводящие их нередко до лабиринта пещер. Ходы этих пещер, иногда по истине громадные, показывают связь с господствующим направлением дислокационных трещин. Так, у Крымских пещер они вытянуты преимущественно в двух направлениях: СВ—ЮЗ и СЗ—ЮВ. Тот факт, что пещеры образуются лишь в растворимых породах (известняки, доломиты, т. е. карбонатные породы, гипс и каменная соль) ясно указывает на важную роль воды в их образовании именно путем ра-

створения. В карсте преобладает вертикальная циркуляция и лишь в глубине, по мнению некоторых авторов, близ лежа из водоупорных пород (напр. глин) может проявляться большая склонность к образованию горизонтального движения ключей определенного горизонта. Колебание вод в подземных трещинах и пещерах может быть очень быстрым от выпадения осадков: иногда, благодаря узким изогнутым дугообразно каналам—трещинам (сифонам), связывающим одну пещеру с другой вода вызывает в первой сверху пещере настолько сильное давление, что или сифон разрушается, или происходит нечто вроде взрыва, вода прорывает потолок этой пещеры и образует знающий грот. Таково, по Крубелю, происхождение громадного грота Карани-хоба на Караби-яйле. На дне пещер и карстовых воронок особенно долго задерживается снег, часто превращающийся в лед. Холодные воды, спускаясь ниже по трещинам и фильтруясь через песчаники, разрешаются в ряд родников, оживляющих весь южный берег Крыма, сам по себе безводный. В горизонте песчаников и конгломератов берут свои истоки и крымские реки (Альма, Тунас, Черная и др.). Просачивающаяся в известковые пещеры вода, как и карстовые воды вообще, содержат относительно много двууглекислого кальция и магния (иначе говоря воды эти жестки). Попадая в трещины и пустоты воды эти выделяют часть своих карбонатов (углесолей), причем бывшая в растворе непрочная двууглекислая соль, теряя часть углекислоты, выделяется в форме нормальной соли (последняя соль менее растворима в воде). Для карбоната кальция имеет место такая реакция: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Карбонат этот обычно выделяется в виде кальцита (известкового шпата) и образует натеки в виде корок и сосуль, нарастающих с потолка пещеры (сталяктиты) и от падающих вниз капель со дна (сталагмиты).

Такие сталактиты могут срастаться с сталагмитами, образуя колонны. Сталактитовые пещеры известны и у нас в России (в Крыму, на Кавказе, в Нижегородской губ., на Алтае и др.). В таких пещерах под известковыми натеками и глинистыми вносами пола нередко удается открывать остатки костей животных, человека и предметы его древней культуры. Такие находки указывают, что пещеры эти были издавна обитаемы.

Приемы определения скорости движения подземных вод.

Знание скорости и направления движения подземных вод в деле их утилизации и гидротехнических мероприятий играет, конечно, большую роль. В пластах рыхлых водоносных пород направление движения будет следовать уклону пласта. В особой главе будет указано, как определяют этот уклон на практике. В породах трещиноватых движение может быть сложное и зависит от хода трещин, связь между которыми приходится устанавливать в каждом отдельном случае систематическими наблюдениями. Нередко в этих случаях в карстовых областях большую услугу оказывает окраска в различных местах водного потока. Этот же прием применяется для определения скорости движения подземных вод. Из красок рекомендуют: флуоресцентную (раствор в воде с едкой щелочью), фуксия, метиленовую синьку и др. В случае мало минерализованных вод можно прибегать к введению различных солей (например, хлористого аммония и др.), к электрическому методу *Сликтера* и др. Только что названные вещества вводятся в воду колодца выше по течению и в другом колодце ниже по течению. Чем течение медленнее, тем колодцы должны быть ближе (это относится, напр., к колодцам в лессовидных породах). Чтобы исключить влияние диффузии, необходимо уловить первое появление максимальной окраски или максимального количества соли в соседнем колодце или скважине (в последнем случае необходимы количественные определения, если вводятся хлориды). Пользуясь флуоресценцией удалось установить связь

вод бассейна Рейна и Дуная, скрывающихся при Зигмарингее в трещинах известняков. Электрический метод Сликтер особенно рекомендует при определении скорости течения грунтовых вод под речными руслами (один из видов сокрытия рек особенно в наносах из галечника или крупного песка) *).

О движениях путем просачивания и капиллярного восхождения у нас уже была речь. Уяснить скорость подтока воды или нефти к забою можно также откачкой, но этого сложного вопроса мы здесь разбирать пока не будем (ниже будет сказано об определении дебита — производительности скважин или колодцев).

Определение простирания и падения водоносного слоя.

Гидрогеологические карты и профили.

Если пласт, система пластов или какая-либо поверхность имеет наклонное положение к горизонту, то в них в целом или для отдельных их частей необходимо знать, так называемые, простирание и падение. Линия простирания есть горизонтальная линия в плоскости пласта, ориентированная относительно меридиана места. Обозначается она, напр., так: СЗ—ЮВ, С—Ю, ССЗ—ЮЮВ и т. д., более же точно с прибавлением угла в пределах от 0° (север) до 360° .

Простирание пласта, лежащего вполне горизонтально, становится неопределенным. Таким образом простирание мы можем отличать лишь у пластов и поверхностей, имеющих какой-либо уклон (падение).

При одном и том же простирании (напр. СЗ—ЮВ, как у Кавказского хребта) падение может отличаться на 180° , т. е. быть относительно меридиана места диаметрально противоположным (напр., на северном склоне главного Кавказского хребта пласты падают на СВ, а на южном на ЮЗ). Кроме того, самое падение может быть крутым или пологим, т. е. отличаться по величине угла к горизонту. Линия простирания и линия падения взаимно перпендикулярны. За угол падения конечно считается плоский угол, измеряющий двугранный, образованный плоскостью падения и плоскостью горизонтальной. При этих условиях линия падения и будет перпендикулярна к линии простирания. Эти элементы положения пласта в пространстве, если уклоны, как это бывает в области складчатых гор, значительны, легко определяются, так называемым, горным компасом (см. в учебниках геологии). Иное дело при работах в области равнин, каковою является большая часть Европейской России. Здесь, правда, имеются тоже нарушения напластования, но уклоны пластов обычно настолько незначительны, что могут быть обнаружены уже только прибегая к более точным приемам наблюдения. В то же время эти уклоны нередко играют огромную роль в образовании глубоких водных горизонтов (артезианских вод), которые особенно пригодны для добычи воды. Вот почему так необходимо сделать некоторые указания, как поступать в таких случаях. Можно заметить, что эти же более точные приемы вполне пригодны и в тех случаях, где измерения горным компасом тоже выполнимы.

Пригодны они также во всех случаях, когда интересующий нас слой пластов погребен под толщею наносов и непосредственно не может быть осмотрен на поверхности. В этих случаях нанесение его выхода на план нужно для того, чтобы сообразно с полученным выходом наметить ряд разведочных скважин или шурфов (особенно часто это приходится делать при разведках на уголь и др. полезные ископаемые, залегающие пластами). Если плоскость имеет однообразное падение, то достаточно знать координаты трех ее точек, не лежащих на одной прямой, чтобы получить возможность вычислять положение плоскости в пространстве, т. е. определить точно ее

*) Подробнее см. в его книжке „Подземные воды“, СПб. 1902, стр. 51—60 (даны рисунки части прибора). Основан этот способ на повышении электропроводности воды вследствие прибавления к ней электролита (удобен нашатырь). Измерение электропроводности производится амперметром

простираание и падение. Задача эта разбирается в руководствах по маркшейдерскому искусству и может быть решена различным путем — аналитическим, графическим и тригонометрическим *). Для того, чтобы избежать чертежей, остановимся лишь на первом и дадим также численный пример (во избежание ошибок вычисления желательно конечно, методы решения комбинировать).

Из аналитической геометрии известно, что если перевесем начало координат в одну из данных (напр. А) трех точек, т. е. если сделаем напр., $x_1=y_1=z_1=0$, то уравнение плоскости примет вид $A_1x+B_1y+C_1z=0$, причем значения коэффициентов будут:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= y_2z_3 - y_3z_2 \\ B_1 &= -x_2z_3 + x_3z_2 \\ C_1 &= x_2y_3 - x_3y_2 \end{aligned} \right\} (1)$$

Положим мы знаем из данных бурений и нивелировки координаты точек а, б и в, характеризующие поверхность интересующего нас пласта. Положим имеем

Точки	Координаты их		
	x	y	z
a	+ 6,442	+ 5,272	+0,511
b	-10,803	+16,198	+0,257
c	-13,398	+11,65	-8,04

При перенесении начала координат в точку а, получим такие величины координат для тех же точек

	x	y	z
a	0	0	0
b	(-10,803)-(6,442)	(16,198)-(5,272)	0,257-(0,511)
	=-17,245	=10,926	=-0,254
c	(-13,398)-(6,442)	(11,65)-(5,272)	(-8,04)-(0,511)
	=-19,840	=6,378	=-8,551

Согласно уравнениям (1) найдем коэффициенты поверхности пласта:

$$\begin{aligned} A_1 &= y_2z_3 - y_3z_2 = 10,926(-8,551) - 6,378(-0,254) = -91,808 \\ B_1 &= -x_2z_3 + x_3z_2 = -(-17,245)(-8,551) + (-19,84)(-0,254) = -142,423 \\ C_1 &= x_2y_3 - x_3y_2 = (-17,245)6,378 - (-19,84)10,926 = +106,783. \end{aligned}$$

Линия простирания спая, как линия горизонтальная, лежащая в спая, есть пересечение плоскости спая и горизонтальной плоскости $z=0$

$$A_1x + B_1y = 0,$$

откуда

$$y = \left(-\frac{A_1}{B_1}\right)x(2).$$

Это уравнение прямой, проходящей через начало координат, для которой угло-

коэффициент $m = -\frac{A_1}{B_1}$, иначе говоря m равно тангенсу угла между прямой и осью x —ов. Угол этот есть угол простирания:

$$\begin{aligned} \text{tgr} &= -\frac{A_1}{B_1} \text{ или у нас} \\ \text{tgr} &= \frac{-91,808}{-142,423}, \end{aligned}$$

по логарифмированию имеем $\gamma = 327^\circ 12'$ или $147^\circ 12'$ (т. е. $147^\circ 12' + 180^\circ = 327^\circ 12'$ **).

*) Подробнее см., напр., Леонтовский, Маркшейдерские задачи, Екатеринослав 1906, Брусницын, Маркшейд. искусство, Новочерк. 1912, А. Д. Стопневич, Угол падения газоносного пласта в Ставрополе на Кавказе, Тр. Вак. Отд. Рус. Техн. Обш. 1913, вып. 1—2.

**) Эти линии в плане совпадут: достаточно ведь сказать СЗ простирание или (отличие на ЮВ вместо СЗ—ЮВ.

Угол падения определяется по формуле

$$\text{Cos}q = \frac{C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}} \text{ или у нас}$$

$$\text{Cos}q = \frac{106,783}{\sqrt{(-91,808)^2 + (-142,423)^2 + (106,783)^2}}$$

откуда $q = 57^\circ 47'$.

Насколько малые могут встретиться углы падения видно, напр., из того, что для газоносного пласта в г. Ставрополе *А. Д. Стопневич*, по данным бурения, вычислил этот угол $0^\circ 48' 25''$, а для третичных фосфоритов в районе р. Малого Несвита к северу от Новочеркасска *В. Т. Васильев* в $0^\circ 20'$. В Кисловодске при сооружении каптажа для знаменитого углекислого источника „Нарзан“ была допущена в свое время ошибка, основанная на предположении, что пласты известняка не имеют падения и лежат вполне горизонтально. Инструментальная с'емка показала, что известняки имеют это падение, почему встреченный буровой близ источника известняк оказался не принадлежащим к мощной свите известняков и доломитов, обнаженных поблизу в парке: эта толща даже на этом коротком расстоянии успела опуститься ниже, а „каптажный известняк“ оказался прослойком, лежащим на черных глинах, кроющим эти известняки (на них то бы и следовало создать каптаж). Благодаря наличию очень слабого падения (изогнутости) пластов мы, напр., видим в Курской губ. частые выходы пластов меловой системы, ближе к Харькову и Бахмачу они опускаются однако очень глубоко с тем, чтобы в Киевской губ. снова появиться на дневную поверхность (в районе Киева однако еще скрыты). Пласты в породе образуют весьма пологую складку, обращенную выпуклостью вниз (геосинклиналь), оттого и водоносные песчаные пласты, следуя за этим движением, дают все условия для образования артезианских вод. Наиболее глубоко лежат эти воды в Харькове, под белым мелом. Все эти отношения стали для нас ясны, когда были обработаны высотные данные (относительно уровня моря) для устья буровых скважин, глубины залегания наиболее типичных пород (напр., подошвы меловой толщи) и водоносных горизонтов. Разрезы (профили) через этого рода складку дали нам вполне ясную картину наблюдаемых отношений. Очевидно, чем больше будет буровых скважин и чем они будут глубже, тем больше шансов составить себе представление о гидрогеологии данной местности. Таким образом нивелировка земной поверхности, определение типичных водных горизонтов и их водных запасов в связи с знанием мощности, геологического возраста и петрографических свойств пород—вот пути к правильному решению вопросов гидрогеологии. В тех случаях, когда гидроизогипсы (hydor—вода, isos—равный и hypsos—высота) водного уровня и подстилающей водоупорной породы имеют один характер (показывают одинаковый рельеф воды и ложа) мы можем утверждать, что изучаемый водный горизонт на нем покоится. Местные отклонения в положении гидроизогипс, т. е. линий одинакового уровня, могут вызываться побочными обстоятельствами, напр., влиянием канав или оврагов.

Многочисленные буровые скважины, проведенные *К. И. Лисицыным* на месте построек зданий Донского Политехнического Института в Новочеркасске (гидроизогипсы через 25 см.) с целью выяснить причины и меры борьбы с подтоплением его подвальных этажей, показали, что уровень грунтовых вод в лессовидном суглинке обусловлен в общем рельефом красnobурой (скифской) глины, его подстилающей.

Рельеф поверхности оказался несколько иным, нежели рельеф красnobурой глины. Поверхность имеет слабый равномерный уклон в одну сторону ($1/25$), глина падает туда же, но круче ($1/20$) и кроме того характеризуется холмообразным возвышением, поднявшим и грунтовые воды. Гидроизогипсы за два смежные года (1915 и 1916) не вполне совпали, что, вероятно, должно об'ясняться влиянием просачивания и дренажа (движение воды в лессовидном суглинке по красной глине очень медленное,

около 10 см. в сутки). Нужно отметить, что ход гидроизогипс дает нам представление, где нужно и на какую глубину закладывать буровые скважины или колодцы для получения максимума воды из данного водоносного слоя: чем гуще жмутся гидроизогипсы, тем больше можно получить воды (будет больше напор и приток). Как известно, горизонталы, дающие высоты рельефа, чем гуще (чем чернее на карте), тем уклоны круче. Здесь то же самое. Если у нас имеется карта с гидроизогипсами, характеризующими водное зеркало грунтовых вод и изогипсы водоупорного пласта, то очевидно мы будем точно знать, как будут во всей полноте этого рельефа варьировать линии простираания и углов падения. Наконец, соблюдая определенные масштабы для горизонтальных и вертикальных расстояний (последние делаются относительно крупнее) мы имеем возможность дать профиль (сечение) в каждом интересующем нас направлении. Такие карты в зависимости от тех целей, которые они преследуют, могут отличаться весьма сильно по своей детальности.

Влияние дренажа.

Мы здесь скажем несколько слов о том, как влияют каналы (в естественных условиях овраги, балки и речные долины) на уровень грунтовой воды, находящейся в покое и заключающейся в подошве водопроницаемого пласта (напр. в песке) на водоупорном горизонтальном слое (на глине). Наблюдения в буровых скважинах и существующих колодцах, расположенных перпендикулярно оси нововырытой каналы или растущего оврага, показывают, что уровень этот по направлению к канаве или оврагу падает, а вода приобретает движение и начинает стекать в дренаж. Если уровень воды в дренажной канаве поддерживается неизменным, то наступит момент, когда вытекающая из грунта вода придет в равновесие. Иначе говоря образуется в обе стороны от канавы кривые поверхности уровня, фиксированные с одной стороны уровнем воды в канаве, с другой уровнем, лежащим выше, уровнем грунтовой воды в пласте. Сток воды по дренажу будет смещать дальше эти кривые поверхности, то же случится если будет приток воды и в дренируемую толщу (при выпадении атмосферных осадков). По мере приближения к стенке канавы в одном и том же по свойствам грунте, одно и то же количество воды проходит через уменьшающиеся профили, отчего скорость тока возрастает. Теоретическое и практическое (путем измерения уровня грунтовой воды) исследование показывает, что депрессия (понижение) водного зеркала в грунте по направлению перпендикулярному оси канавы, выражается уравнением параболы (показано *Дюпюи* в 1848 г.). Вид этой параболы, т. е. большая или меньшая ее отлогость (сфера действия дренажной канавы), зависит прежде всего от разности уровней воды в канаве и грунте и от проводимости этого грунта (от величин коэффициента просачивания).

На основании наблюдений считают, что известному понижению уровня воды в данном грунте соответствует осушенная длина от 67 до 333 раз большая данного понижения, а в грунте глинистом от 7 до 33 раз большая этого понижения. Более сложные случаи состоят в том, что уровень грунтовой воды сам по себе не есть горизонтальный, а движется по уклону и т. д. Желающие могут найти на этот счет математическое обоснование и расчетную часть в других местах *).

В заключение этой главы скажу еще следующее. Изучение уровня грунтовых вод особенно в дюнных (песчаных) областях с ясностью показало, что рельеф уровня представляет собою ослабленный рельеф самой поверхности дюнных пространств. Иначе говоря, под каждой дюной или барханом (песчаным холмом) мы имеем выпуклость

* См., напр., *Лембоке*, Движение грунтовых вод, Журн. Мин. Пут. Сообщ. 1886 г., № 2, 1887, № 17 и 1888, № 5-6 (перевод с французского), *А. А. Краснопольский*, Грунтовые и артезианские колодцы, 1912, стр. 68-79 и замечательный труд инженера *Поше*: Pochet, Etude sur les ... Paris 1905 (том текста и атлас чертежей).

водного зеркала, но более пологую, нежели самый холм. В понижениях между холмами уровень вод тоже понижается, но слабо, отчего в этих местах грунтовые воды легче доступны колодцам и растительности.

Оползни и оплывины.

Мы видели, что даже воды, находившиеся дотоле в покое и располагавшиеся поверх водоупорного слоя, коль скоро этот слой будет прорезан канавою, оврагом или рекою, начинают стекать в этот искусственный или естественный дренаж. Стеkanie будет энергичнее, если водоупорный пласт будет иметь уклон к дренажу, а вода в грунте будет иметь питание вследствие подтока извне (просачивание с поверхности и др.). Давно замечено, что водоупорный пласт (глина) намокая разбухает, становится скользким, отчего выше лежащие водоносные породы начинают терять устойчивость и перемещаются в дренаж. Так происходят по нагорным берегам рек и морей оползни, оплывины и обвалы, причем наблюдаются они особенно после периода сильных дождей и таяния снегов. Для каждого места, где совершаются эти явления, можно установить один, два или даже несколько горизонтов, где воды выходят по глинам и делают берег неустойчивым. Оползень в чистом виде представляет собою собственно небольшой сброс, но вызванный не тектоническими движениями, а размывом подземными водами. При оползне участок берега, оторванный рядом параллельных ему трещин, смещается обычно уступами, отчего получается ступенчатая терраса. Вертикальное перемещение нередко достигает нескольких саженей. Террасы оползня, вследствие сопротивления со стороны низших участков земных пластов, входящих в отлогую часть берега, обычно несколько запрокидываются назад от берега, отчего получается гигантская лесница с наклонными ступенями. Если берег высок, вертикальное смещение значительно, и начинается с его венца, то оползень приобретает для подошвы обнажения и берега вообще толкающий характер (детрузивный оползень). При этом происходят внизу горизонтальные смещения с образованием тоже очень плоских, плохо заметных террас и бугров. Запрокинутые гребни этих террас при мелкой воде у берега иногда выступают наружу в виде отмелей (огрудки на Волге), а при большом спаде воды они же могут стать причиной образования небольших прибрежных озер. Толкающие оползни действуют особенно разрушительно на постройки, железнодорожное полотно и т. д. Оползни почти всегда осложняются обвалами породы, а иногда частью или полностью превращаются в оплывины. При оплывинах набухшая масса, приближающаяся уже к консистенции густой жидкости, соскальзывает не как твердое тело, а как тело полужидкое. Обычно в каждом оползне мы имеем в большей или меньшей степени осложнение оплывиной и обвалом. Оползни совершаются особенно легко на берегах, подмываемых, а потому и более крутых. У рек такими берегами обычно являются берега правые, нагорные, на которых чаще располагаются селения и города. Этим они хотя легче избегаются от затопления при наводнении, но за то больше подвергнуты опасности со стороны оползней, шаг за шагом подвигающихся вглубь суши. Опытный глаз геолога на берегах наших крупных рек, как Волга, Днепр, Дон и др. сразу заметит признаки оползневых явлений и характерный для них рельеф, если бы даже свежие оползни здесь и не было заметно и растительность мирно скрывает старые раны. В тех случаях, когда трещины оползня захватили район построек или подошли к нему близко, бороться с явлениями оползания трудно. Так, печальная участь быть разрушенными грозит рано или поздно древним святыням Киева Печерской Лавре и Михайловскому монастырю, высящимся над крутым берегом Днепра.... Борьба с оползнями, говоря вообще, может вестись разными путями: путем отвода подземных вод галлерейми или поглощающими колодцами, замащиванием областей инфильтрации (мощение улиц в городах), отводом наземных вод, размывающих берег сверху, или там застаивающихся в прудах и канавах, древесными посадками по склонам и нек. др. При изучении водных

горизонтов того или другого места, что делается прежде всего в естественных обнажениях по рекам и оврагам, рекомендуется быть очень внимательным, чтобы оползшие и смытые сверху породы не принимать за коренные, а неправильно циркулирующие в „геологическом плуре“ воды регистрировать как выходы на действительных уровнях их в несмещенной осадочной толще. Вследствие подпруживания вод, выходящих из обнажения, сползшими или оплывшими массами возможно дальнейшее оползание берега. Такие оползни бывают менее значительны и состоят в соскальзывании ближе к урезу вод масс оползших раньше. В этом случае коренные породы или не захватываются совсем или только в нижних горизонтах берега. За более подробными сведениями об оползнях отсылаю читателя к труду проф. *И. В. Мушкетова*: „Физическая геология“ т. I и к одной из работ проф. *А. П. Павлова* на эту тему: „Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья“ (с 29 табл. рис. и чертежами), напечатанной в журнале „Материалы к познанию геологического строения Российской Империи“, Москва 1903, вып. 2, 69 стр.

Некоторые частные случаи залегания и передвижения грунтовых вод.

В этой главе указаны будут лишь немногие случаи, представляющие особенности в залегании грунтовых вод.

1. Грунтовые воды лежат так низко, что вызывают заболачивание и даже выступают на поверхность.

2. Грунтовые воды, следуя неровностям водоупорного ложа, образуют в выше лежащем водопроницаемом пласте ряд изолированных озер, горизонтальный уровень которых лежит не в одной плоскости. По этой причине соседние колодцы встречают воду на разных глубинах от принятого за единицу уровня. При подъеме грунтовых вод отдельные грунтовые озера и озерца могут соединиться и образовать один водный уровень.

3. Большим открытым рекам соответствуют широкие потоки грунтовой воды вдоль центральных частей пересохших русел, мертвых древних долин. В долинах такие же подтоки возможны с берегов по направлению к стержню центрального потока и с уклоном по течению. Движение особенно с берегов долин очень медленное. Подземные потоки по системе трещин уже были нами рассмотрены.

4. Грунтовые воды в живых речных долинах движутся также под углом к открытому водотoku (дренажу), следуя общему уклону русла. В отличие от случая третьего уровень их может повышаться вследствие поднятия уровня воды и начавшегося просачивания вод из реки в толщу речной террасы, а также вследствие происходящего при этом подпруживания вод, двигающихся к реке. Надвигание этой обратной подземной волны может, благодаря медленности просачивания, продолжаться еще тогда, когда сама река начала уже спадать. В некоторых случаях, впрочем, дно реки, текущей даже в песках, становится вследствие заиления настолько водоупорным, что указанное выше взаимодействие между уровнем воды в реке и в водах террас проявиться не может.

5. Пресные грунтовые воды на небольших морских песчаных островах, покрытых дюнами, сменяются на глубине водами солеными, просачивающимися из моря. Получается система двух сообщающихся сосудов с жидкостями разной плотности (вод пресная и вода соленая). На острове Нордерней верхняя граница морской воды была встречена на глубине 50—60 метров под уровнем моря, в то время как поверхность пресной грунтовой воды возвышалась на $1-1\frac{1}{2}$ м. над уровнем моря (проф. *К. Кейльгак*).

6. Грунтовые воды располагаются несколькими горизонтами согласно ходу в данной свите водупорных пластов. Все они имеют естественные выходы в речные долины и овраги и не носят характера вод напорных (артезианских). Этот случай очень

часть на практике. По своему составу, чистоте и количеству воды эти могут показывать различия.

Некоторые интересные частности представляют случаи нахождения воды в породах, заключающих линзы другой породы. Если в глинах встречается линза песка, она может быть водоносной. Вода эта обычно при эксплуатации скоро иссякает, ибо новые инфильтраты со стороны будут или совершаться очень медленно или совсем не будут иметь места. Под глинистыми плоскими линзами в песчаных отложениях речных долин иногда встречали воду с небольшим напором.

Что касается условий образования и режима артезианских вод, то о них будет нами сказано особо (см. ниже).

8. „Вечная мерзлота“ *). Во многих местах Сибири и С. Америки лежат на глубине слов почвы, которые круглый год остаются мерзлыми. Площадь, занятая мерзлотой в Сибири, достигает размеров 7 миллионов кв. верст. Впервые вопрос о мерзлоте возник благодаря находкам в 1771 г. на берегу р. Вилюя в мерзлой почве трупа носорога и в 1799 г. на берегу Ледовитого океана трупа мамонта. Граница распространения мерзлоты, начинаясь несколько севернее Архангельска, направляется к устью Оби, пересекает Енисей при впадении в него Н. Тулгузки, опускается отсюда к югу, придерживаясь течения Енисея, переходит Ангору, далее через верховья Енисея, Солонги и Аргунни, пересекает Амур около Благовещенска и далее подымается к Охотскому морю. К северу этой границы в пределах царства вечной мерзлоты могут быть участки ее лишенные, что случается особенно по мере движения к югу. Вечная мерзлота неоднократно была обнаруживаемая под руслами рек. Наблюдавшаяся до сих пор мощность мерзлого слоя колеблется от ничтожной величины 0,43 метра до 70,4 метра на ст. Бушулей Амурской ж. д. В Иркутской губ. на многих переломоческих участках толщина мерзлоты достигает от 25 до 36 метров. Иногда мерзлые слов перемежаются с тальми, как это, напр., часто бывает на золотых приисках в Якутской области. По этим „таликам“ циркулируют грунтовые воды. Средняя глубина залегания мерзлоты для Иркутской губ. будет: в июне 1,81, в июле 2,17, в августе 2,32, в сентябре 2,34 и в октябре 3,35 метра, т. е. с постоянным прогреванием почвы верхний горизонт мерзлоты опускается. Часто в постоянно мерзлой почве встречаются прослой чистого льда. Прежде всего присутствие обширных пространств с вечно мерзлой почвой отразилось на режиме рек. Реки Сибири можно разделить на два резко обособленных типа: реки Западной Сибири—Обь с притоками, расположенными вне области постоянной мерзлости, и реки Восточной Сибири: Лена, Амур, бассейны которых почти полностью занимают промежуточное положение. Годовой ход колебания уровня рек первого типа в общем представляет такую картину: наиболее низкий горизонт в зимнее время; вскрытие под напором внешних вод, очень обильных от глубоких снегов; бурный подъем воды при вскрытии; высокая внешняя вода иногда немного падает, иногда держится почти на одном уровне до августа. Общий характер рек—обилие воды почти круглый год и особенно в теплую половину года. Годовой ход уровня рек второго типа отличается низким горизонтом вод в зимнее время, очень незначительным подъемом воды при вскрытии и целым рядом резко выраженных летних паводков, в промежутках между которыми уровень падает почти до зимнего горизонта. Для бассейнов рек первой группы образовавшиеся от таяния снегов воды имеют возможность просачиваться в почву и питать грунтовые запасы, что очень затруднено при наличии мерзлоты в бассейнах второй группы рек. Эти то грунтовые запасы и вызывают равномерность стока в реках Западной Сибири. Мало-снежные и наличие мерзлоты в Забайкальи и Амурской области вызывают малую инфильтрацию и огромный сток (часто 74%).

Другое свойство рек, протекающих в областях вечно мерзлой почвы, состоит в

*) Составлено по В. Б. Шостаковичу, „Природа“ 1916, май—июнь 1916 года.

их склонности образовывать в зимнее время *наледь*. Зимой под словом наледь разумеется внезапное появление среди скованной морозами природы текучей или стоячей воды, которая пропитывает покрывающий землю снежный покров, затопляет покрытые льдом русла рек и целые долины. Летом наледи в Якутской области — это громадные, толщиной в несколько сажен, ледяные поля, покрывающие целые десятины, а иногда и десятки квадратных верст, и окаймленные, как венцом, цветущим ковром растительности. Наледи есть результат выступления речной воды путем фильтрации в намытые пески и гравий берега выше мерзлого (водоупорного) слоя. На небольших речках наледи достигают особенно большого развития. При этом наледи появляются на них из года в год с замечательной правильностью в одних и тех же местах. Эти места характеризуются обычно широким развитием камешника. Образуются и подземные наледи в виде бугров. Они могут поднимать на себе мощные дерновые слои, иногда с громадными деревьями. Бугры достигают 2 саж. высоты и до 10—20 саж. в поперечнике; протяжение удлиненных бугров доходит до 50 саж., ширина — до 5 саж. Возникают бугры обычно на одном и том же месте, в местах выхода ключей. Мерзлота грунта вызывает ряд других особенностей, выясненных лишь недавними наблюдениями:

- a) диссиметрию широтных рек вследствие неравномерного размыва дождевыми водами обогреваемого (южного) и необогреваемого (северного) склонов долины,
- b) заболачивание, если мерзлота лежит неглубоко (таковы „мари“ Амурской области),
- c) трудность найти грунтовую воду для водоснабжения и замерзание в трубах воды артезианской,
- d) трещины в тяжелых зданиях от неравномерной осадки и подтаивания,
- e) обращение промерзлого грунта в плавун в выемках,
- f) наконец, на условиях развития сельско-хозяйственного промысла и заселения вообще.

Причины колебания уровня грунтовых вод.

Причины колебания уровня грунтовых вод довольно разнообразны и иногда стоят в связи со способом их образования. В предыдущих главах разбросано уже достаточно материала на нашу тему, но в виду ее важности постараемся эти сведения систематизировать и дополнить.

Для удобства выделим ряд случаев.

1. Колебания уровня грунтовой воды *) стоят в связи с количеством осадков, с условиями конденсации, проницаемостью грунта и испарения. Остановимся ближе только на последнем условии.

Испарение прямо пропорционально, так называемому, „влажному дефициту“ D или „недостатку насыщения“. Под этим именем разумеется разность, которая получается, если мы уригость e паров, действительно существующих в воздухе, вычтем из уригости E паров, необходимых для насыщения при той же температуре, т. е.

$$D = E - e.$$

Случай а: большое абсолютное количество осадков и малый недостаток насыщения. Годичные колебания уровня грунтовых вод определяются годичным ходом атмосферных осадков.

Случай б: малое абсолютное количество осадков и высокий недостаток насыщения. Годичные колебания уровня грунтовых вод будут следовать колебаниям недостатка насыщения.

*) За ним можно следить, измеряя расстояние до воды в колодезе или скважине. Измерение предпочтительнее делать не от руки, а самопишущим прибором. Желательно, чтобы колодезь или скважина были гарантированы от подтока воды сверху (закрыты).

Первый случай был, напр., доказан многолетними наблюдениями над колебанием грунтовых вод в Мюнхене, второй—над таковыми же в Берлине. В Берлине график колебаний на первый взгляд не показывает никакой связи между осадками и грунтовыми водами. Наивысшее стояние грунтовых вод падает на месяцы с марта по май, т. е. на время, когда осадки достигают минимума, а минимальное стояние грунтовых вод в октябре совпадает со вторым максимумом осадков. Если же сравнить кривую грунтовых вод с кривою недостатка насыщения, имея в виду, что процессы испарения отражаются на грунтовых водах с некоторым запозданием, то обнаружится чрезвычайная согласованность. Что касается абсолютной величины амплитуды (размаха) таких колебаний, то в Мюнхене она за 1850—1885 год составляла около 27 см., в Берлине за 1870—1885 г. 58 см.

2. Кроме годовых колебаний уровня он подвержен и многолетним, стоящим в связи с таковыми же колебаниями климата (влажности, температуры, испаряемости и т. д.). В частности отметим, примерно, 35 летние периоды, установленные Венским профессором Э. Брикнером (Брюкнером).

Схема Брикнера для Западной Европы такова (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3.

Колебания, установленные по временам:				
	Сбора винограда	Холодным зимам	Рекам	Озерам
Холодно	1691—05	1685—05	1702—20	1707—14
Тепло	1706—35	1705—30	1721—35	около 1720
Холодно	1736—59	1730—1750	1736—50	" 1740
Тепло	1756—65	1750—65	1751—70	" 1760
Холодно	1766—75	1765—75	1771—90	" 1780
Тепло	1776—05	—	1791—05	" 1800
Холодно	1806—20	—	1806—20	" 1820
Тепло	1821—35	—	1821—30	" 1835
Холодно	1836—55	—	1831—60	" 1850
Тепло	1856—75	—	} тепло 1861—80	
Холодно	1876—90	—		
				" 1880

Изучение исторического материала по летописям (о засухах, лесных пожарах, наводнениях, морозах и т. д.) и наблюдения над режимом рек позволили и для Европейской России принять тоже примерно этой же величины периоды (Боголепов считает их 33 летними, т. е. второе более длинными, нежели для типично выраженного периода солнечных пятен).

Последний максимум холодного и влажного периода был отмечен Брикнером в 1880 году, а следующий максимум должен быть около 1915 г. Это, приблизительно, и осуществилось, ибо еще недавно и в Европейской России выпадение осадков стало заметно выше. В частности в районе Новочеркасска стала замечаться большая подтопляемость подвальных этажей начиная с 1912 года. Стали появляться источники на высоких местах. Особенно явления эти усилились в 1915—1916 году. *) В

*) Подробнее об этом см. в работе К. И. Лисицына, Гидрогеологические исследования на площади построек Донского Политехникума, Сев.-Кавказск. Мелiorат. Бюллетень 1916 и 1917 гг.

1917 году разлив Дона достиг наивысшего уровня из отмеченных за 177 лет, по крайней мере, по отметкам на дощечках Старочеркасского собора: в 1917 году высота эта достигала $8\frac{3}{4}$ арш. над меженным уровнем у ст. Старочеркасской (так в 1740 г. „Таракановская вода“—8 арш., в 1786 г. „Краснощекская“— $8\frac{1}{2}$, в 1840 „Венгерская“— $8\frac{1}{2}$, в 1880 году— $7\frac{1}{2}$ арш.) *).

Кроме Брикнеровских периодов несомненно имеются и другие более короткие и более длинные (вековые). Изучены они еще плохо.

3. Связь уровня и вообще режима грунтовых вод по живым речным долинам, если воды эти залегают низко в аллювиальной террасе, а также связь надземных и подземных вод в карстовых областях нами уже была достаточно освещена, чтобы на ней нужно было останавливаться ближе в нашем кратком руководстве.

4. Наблюдения показали, что уровень грунтовых вод в дюнных берегах колеблется не только в зависимости от приливов и отливов, но и при сильных ветрах, причем морская вода, как более тяжелая, подпирает грунтовую воду снизу. В Остевде обыкновенно колебания бывают до 4 и 5 метров; но при совместном действии прилива и ветра поднятие грунтовых вод происходит сильнее и быстрее, напр., на берегах островов Сидьта и Фора при юго-западных бурях в колодцах, глубиною 25—30, вода поднимается так сильно и быстро, что напором воздуха срывает тяжелые крышки колодцев, при восточных и северных ветрах, напротив, тяга воздуха в колодцах происходит сверху вниз и вода в них падает до уровня моря. Все береговые колодцы, в которых горизонт воды изменяется от приливов и ветров, называются приливными. Они встречаются во многих местах и даже в значительном расстоянии от моря. **)

5. Растительный покров и особенно лес понижает уровень грунтовых вод. Об этом подробнее будет сказано в особой главе—„Гидрологическая роль растительности“. Здесь отметим, что этого рода фактор депрессии в наших широтах носит периодический характер, ибо совпадает ежегодно с вегетативным периодом.

6. Уровень грунтовых вод стоит в связи с наличием дренажа искусственного или естественного (рост оврагов, развитие речных долин). Понижение воронкою уровня наблюдается при откачивании воды из колодцев и скважин. Обратно могут действовать заируды в реках и балках.

7. Понижение барометрического давления атмосферы, отзываясь на равновесии воздуха и воды в порах почвы, а также на газах, растворенных в самой воде, (такие особенно минеральные воды, содержащие сероводород или углекислоту) вызывает падение грунтовых вод и повышение уровня в колодцах, скважинах или местах выхода ключей. Повышение давления действует обратно. Следовательно, колодцы грунтовые (и артезианские) могут быть названы водяными барометрами. Такого рода явления могут быть замечены и в деятельности грязевых сопков, в изобилии имеющих у нас особенно в разных местах Таманского, Керченского и Ашшеронского полуостровов. Деятельность сопков, т. е. собственно говоря грязевых ключей, содержащих нефтяные газы (бензотный и др.), на Таманском полуострове особенно усиливается в те летние месяцы, когда давление в общем стоит особенно низко. То же отмечается для деятельности минеральных вод Кавказских минеральных вод. Насколько токи газов и паров, выделяющиеся из земли, бывают чувствительны к переменам давления, доказывает Сольфатар в местечке Поццуоли недалеко от Неаполя: здесь проводники всякому туристу показывают, как горячие белые пары, вырывающиеся из отверстия забившегося давно конуса вулкана, начинают выделяться интенсивнее,—стоит произвести только слабую тягу воздуха, зажгши факел. Связь уровня грунтовых вод с атмосферным давлением особенно точно доказал американец Кинг с помощью самопишущих приборов собственной конструкции.

* В. В. Богачев. Очерки географии Всевеликого войска Донского, 1918 стр. 117.

** И. В. Мушкетов, Физическая геология, т. II, СПб. 1903, вып. I, стр. 229—230.

В заключение настоящей главы сделаю выборку из его образцовых наблюдений вообще. Он доказал зависимость уровня от колебаний температуры почвы: при повышении t^0 уровень грунтовых вод понижается и обратно. Даже случайные сотрясения почвы, напр., при прохождении поезда вблизи колодцев—отзывались на показаниях самопишущих приборов в колодцах *). Дальнейшие наблюдения того же автора, производившиеся в течение двух лет, показали, что на участках, находившихся под паром, уровень грунтовых вод был выше, чем на участках, занятых растительностью; кроме того уровень грунтовых вод на участках, занятых различными культурами, оказывался различным; так, напр., на участках под кукурузой уровень грунтовых вод падал ниже, чем, напр., на участках под овсом (снятым), в зависимости от капиллярного поднятия воды, возбуждаемой корнями растений, испаряющих воду; почью уровень поднимается. Кроме 25 ранее существовавших, Кинг сделал еще 21 буровой колодезь, уровень воды в них был на 5—9 метр. от поверхности почвы. Было устроено приспособление для отсчета колебаний уровня, с точностью до 0,8 мм. Уровень вод оказался не горизонтальным, он следует за изменением рельефа поверхности почвы. Иногда незначительный дождь может вызвать в некоторых колодцах очень значительное поднятие грунтовых вод, а в других—никакого. Зимой уровень грунтовых вод падает, вероятно, вследствие движения воды в еще более глубокие слои почвы. Чем ниже уровень грунтовых вод, тем меньше его колебания, так как при неглубоком уровне вода испаряется быстрее; поэтому неглубокие колодцы понижают свой уровень быстрее, чем глубокие. В 1000 дневных часов среднее изменение уровня грунтовых вод составляло 218 мм., в 1000 ночных часов—33 мм.

Гидрологическая роль растительности.

Опыты показывают, что растения почти совершенно не могут усвоить воды в парообразном состоянии. Капельно-жидкая вода усваивается ими почти исключительно через корневую систему и подается вверх, так называемым, транспирационным током. Вода эта лишь в относительно ничтожном количестве задерживается в тканях растения, но главным образом испаряется в атмосферу. Таким образом—в растительных организмах мы имеем важный гидрологический фактор, мимо которого не может пройти ни гидрогеолог, хотя ему и придется при этом вторгнуться в области ботаники, сельского хозяйства, лесоводства и болотоведения. В настоящей главе будет по возможности раздельно рассмотрена роль травянистых растений и леса на запасы влаги в почвах и грунтах. Более подробные сведения на этот счет, *желающие* могут найти, напр., в трудах *Т. В. Локтя* **), *А. А. Измайльского* ***), *П. В. Отоцкого* ****), *Г. Н. Высоцкого* *****), *Е. В. Оплокова* *****), *Г. И. Танфильева* *****).

*) Замечу, кстати, что режим подземных вод может очень резко изменяться при землетрясениях, особенно если при этом наблюдаются обвалы, оползни и образование в земле трещин.

**) *Т. В. Локоть*. Важность почвы в связи с культурными и климатическими условиями. Университетские Известия, Киев, 1904.

***) *А. А. Измайльский*. Влажность почвы и грунтовая вода в связи с рельефом местности и культурным состоянием поверхности почвы (результаты исследования влажности почвы в Полтавском уезде с 1886 по 1893 год). Полтава 1894. Стр. VII+323.

****) *П. В. Отоцкий*. Грунтовые воды. Часть 2. Грунтовые воды и леса, преимущественно на равнинах средних широт. СПб. 1905. Он же. Режим грунтовых вод, журнал „Почвоведение“ 1915 и 1916 г. Дается подробный разбор литературы и описываются собственные опыты.

*****) *Г. Н. Высоцкий*. О взаимных соотношениях между лесною растительностью и влагою преимущественно в южно-русских степях. Изд. Лесного Департамента, СПб. 1904.

*****) *Е. В. Оплоков*. Вопрос об обмелении рек и т. д. Журнал „Сельское Хозяйство и Лесоводство“. СПб. 1900 (много данных исторического характера о гидрологической роли леса).

*****) *Г. И. Танфильев*. Пределы лесов в полярной России и т. д., Одесса 1911 (много данных о торфяниках; богатая литература вообще).

К. Д. Глинка *), Э. Г. Лоске **) и др. Работами этих авторов воспользуемся и мы для своего очерка. Один из самых первых опытов над испарением растений делал Галес. Вот как он описывает один из них, сделанный с подсолнечником. „3 июля 1724 г. я произвел, пишет Галес, опыт для определения количества влаги, поглощаемой и испаряемой подсолнечником. Взял для этого цветочный горшок, посадил туда молодое растение (подсолн.) и вырастил его до $3\frac{1}{2}$ футов высоты. Поверхность почвы прикрыл свинцовой пластинкой, которую припаял к стенкам сосуда, чтобы влага из почвы не испарялась; только для прохождения воздуха в почву вставил стеклянную трубку, в 9 дюймов длины, а для поливки более короткую трубку в 2 дюйма и один дюйм в диаметре; эту трубку после поливки закрывал пробкой. От 3 июля до 8 августа я взвешивал через день сосуд утром и вечером. Потом срезал стебель подсолнечника у самой пластинки, замазал стебель, чтобы устранить испарение через стебель, и взвешивал сосуд (без подсолнечника), чтобы определить, сколько испарял сосуд сам без растения. Оказалось, он испарял в сутки два унца. Зная это, а также и вес сосуда с растением, я вычислил, что наиболее сильное испарение подсолнечника в 12 час. самого сухого и жаркого дня составляло 1 фунт и 11 унцев; в среднем 1 фун. 4 унц., ночью—приблизительно 3 унца“.

Лооз и Гильберт пришли на основании опытов к таким выводам:

1) Количество воды, испаряемой растениями в течение их вегетации, пропорционально количеству сухого вещества, ими вырабатываемого; пропорция эта приблизительно одинакова как для злаковых, так и для бобовых растений; 2) на одно и то же количество испаряемой воды бобовые усвоят в два или в три раза больше азота, чем злаковые; в общем растения испаряют в течение всей своей вегетации 250—300 частей воды на одну часть сухого вещества; так, напр., считая средний урожай пшеницы (зерна и соломы вместе) в Ротамстеде в 7500 килогр., или 6275 кв. сухого вещества получим около 1880 куб. метров воды ***), испаряемой таким урожаем с гектара ****).

Данные опытов Лоске сведены у нас в таблице четвертой.

ТАБЛИЦА 4.

Количество единиц воды,
испаренной на одну
единицу

		сухого вещества.	органиче- ского ве- щества.
Пшеница	Без удобрения	247,4	268,8
	Минер. удобрение	222,4	247,6
	Минер. удобр. и азот.	205,9	233,4
Ячмень	Без удобрения	257,8	286,0
	Минер. удобрение	256,4	285,2
	Минер. и азот. удобр.	271,8	304,0
Бобы	Без удобрения	208,8	229,7
	Минер. удобрение	219,2	240,0
Горох	Без удобрения	259,1	288,7
	Минер. удобрение	210,8	245,2

* К. Д. Глинка. Почвоведение, Петроград, 1915.

**) Э. Г. Лоске. Отношение почвы к метеорологическим факторам. Труды по сельскохозяйственной метеорологии, 1912, вып. IX.

*** Считая кубический метр=81,31 ведра, получим 152863 ведра, т. е. цифру очень большую.

****) Гектар несколько меньше нашей десятины: 1 гектар=0,915 дес.

Клевер	Без удобрения	269,1	314,0
	Минер. удобрение	228,8	269,5
	Минер. и азот. удобр.	147,6	172,0

Наблюдения *Рислера* в 1870 и 1871 дали такие количества воды, испаряемые растениями в один день в миллиметрах на гектар в течение всей своей вегетации:

Люцерна	3,4	— 7 мм.
Злаковые травы	3,14	— 7,28
Овес	2,9	— 4,9
Бобы	более	3,0
Кукуруза	2,8	— 4,0
Пшеница	2,67	— 2,8
Клевер	2,86	—
Рожь	2,26	—
Картофель	0,74	— 1,4.

Цифры, полученные в 1875 году *Габерландом*, при расчете на гектар, таковы: рожь 82,5 мм.; пшеница—118,0; ячмень—123,7 мм. и овес—227,8 мм. При сравнении цифр этого рода, полученных различными авторами, надо иметь в виду, что колебания в них могут зависеть от густоты посева, климатических условий, а также от засорения поля. Ряд опытов *Вольни* обнаруживают самую очевидную зависимость количества испаряемой растениями воды от их числа на известной площади; отсюда следует, что на почве с слабой влажностью густой посев, испаряя в первые периоды вегетации очень много воды, под конец вегетации может погибнуть от недостаточной влажности; далее, чем роскошнее развитие растений, тем больше опасности наступления недостатка влаги в почве; чем длиннее период вегетации, тем тоже больше опасность. По опытам *Ф. Б. Яновчика*, на единицу урожая яровой пшеницы в Херсоне требуется около 500 единиц воды, при минимальной влажности—удобрение понижает расход воды растением. Чем выше влажность почвы, тем больше расход воды растением. Опыты с различными сортами яровой пшеницы дали такие результаты:

	Урожай в граммах.	На 1 гр. сух. вещ. испар. воды грам.
1. Польская	17,84	521
2. Арнаутка	21,33	432
3. Улька	22,88	423
4. Белоколоска I (тоже Улька)	21,45	413
5. „ II „	24,12	417

Эти результаты показывают, что чем выше урожай сухого вещества, тем относительно меньше расход воды растением. Кроме того, как эти опыты, так и опыта *В. Т. Локтя* на полтавском Опытном поле (чернозем на лессе) показывают, что количества испаряемой воды растениями в условиях юга России значительно больше, нежели в условиях Западной Европы.

В. Т. Локоть вел свой учет почвенной влаги на протяжении трех лет (1895—1897). Определения делались до глубины $1\frac{1}{2}$ — $2\frac{1}{2}$ и даже 3 аршин, причем число образцов, взятых для определения влаги, в зависимости от глубины, колебалось от 7 до 13. Вот некоторые средние цифры им полученные.

В люцерновом пятиполье:	%	%
Зябь 4 верш. вспашки	14,32	
„ 8 „ „	14,36	

Кукуруза 4 верш. вспашки	15,75
„ 8 „ „	15,53
Удобрённые участки	15,83
Неудобрённые „	15,31

и т. д.

В старом трехпольном севообороте:

На яровых полях	14,37
„ озимых „	14,40
„ паровых „	16,40
Черный пар 6 верш. вспашки	17,51
„ „ 3 „ „	17,76
Зелен. неудобр. 6 „ „	17,00
„ „ 3 „ „	16,33
На озимом поле по ржи	15,21
„ пшенице	16,31
„ удобрен. пару	15,47
„ неудобр. „	15,11
„ черному „	16,70

и т. д.

Влажность на целине в степи	13,01
„ „ лесу	13,62
На разрыхленных участках	16,04
„ задернелых	13,85

и т. д.

Мертвый (соломистый) покров повышает влажность до 2 и более процентов. Весеннее разрыхление парового поля способствует сохранению влаги в почве, наконец, ранний подъем на зябь имеет значительное преимущество в деле накопления влаги в почве, по сравнению с весенней вспашкой под яровое.

Обратимся теперь к вопросу о гидрологической роли леса, возбуждавшей и возбуждающей и до-ныне много споров. Обычно утверждают, что истребление лесов ведет к иссяканию источников (грунтовых вод) и обмелению рек. Вывод этот несомненно поспешен, как показали более точные наблюдения, сделанные подробно и у нас в России (г. *Отоцкий*, *Н. П. Адамов*, *Г. Ф. Морозов*, *Г. Н. Высоцкий* и др.). В связи с тем, что было уже сообщено о гидрологической роли травянистой растительности, не должно быть не ожидаемым, что и деревья должны поглощать запасы грунтовой влаги. Разница будет та, что их корневая система дренирует ниже, отчего влага в самых верхних почвенных слоях приобретает независимое существование, что в связи с наличием „лесной прохлады“ вводит в заблуждение поверхностного наблюдателя.

Вот цифровые данные, которые получены *Хенелем* во время трехлетних опытов в сосудах с древесными породами (средние из опытов 1878—1880 года)—для производства 1000 граммов сухого вещества листьев растения испарили граммов воды:

1. Ясень (<i>Fraxinus exc.</i>)	85615
2. Береза (<i>Betula alba</i>)	81433
3. Бук (<i>Fag. silv.</i>)	74859
4. Граб (<i>Carp. bet.</i>)	73107
5. Вяз (<i>Ulmus camp.</i>)	66170
6. Явор (<i>Acer pseudopl.</i>)	58596
7. Дуб (<i>Quercus pedunc. и sess.</i>)	54572
8. Клен (<i>Acer plat.</i>)	53063
9. Ель (<i>Abies excelsa</i>)	13501
10. Сосна (<i>Pinus silvestr.</i>)	9426

Из этого ряда ясень и береза испаряют всего сильнее; хвойные всего слабее. „Отправляясь на экскурсию, пишет *Отоцкий*, я не ожидал, что встречу факты столь однородные и столь согласные, что вывод из них вытекает сам собою. Он таков: при всех прочих равных физикогеографических условиях верхний уровень грунтовых вод под степными лесами ниже, чем на прилегающей степи или вообще на соседнем открытом месте“. „Ни одна буровая скважина не дала результатов, которые хотя бы даже на первый взгляд противоречили вышеприведенному заключению“... „Замечалось, что падение уровня грунтовых вод сначала весьма слабое, по мере приближения к лесу, делалось несколько сильнее, а при вхождении в самый лес давало крутой изгиб книзу. Такая закономерность невольно приводит к сравнению леса с действующими водокачками“...

Наблюдения *П. В. Отоцкого* делались в летнее время, т. е. в период вегетации. Как колеблются воды в течение всего года под лесом и на соседней степи, его бурения нам не показывают. Возможно, что лес в степных местностях, особенно при условии посадки полосами, перпендикулярно господствующим ветрам зимой и весной накапливает подземную влагу, ибо таковая берется там и из снегов, задерживаемых на поверхности (снег накапливается особенно по лесным опушкам). Тем не менее и даже этот избыток, очевидно, с лихвою им испаряется за лето: иначе не было бы под лесом депрессии водного зеркала.

В связи со сказанным становится понятным, что нередко в тех местах, где имеются близкие к поверхности грунтовые воды, лесной пожар или вырубка леса может повести к такому под'ему грунтовых вод, что произойдет подтопление и начнется настоящее заболачивание местности. Такие случаи неоднократно отмечались разными исследователями в Сибири и Европейской России.

В суглинистых грунтах нашего юга под промокающим сверху горизонтом почвы имеется, так называемый, „мертвый горизонт“, влажность которого очень невелика и особенно уменьшается под лесами. „Прекрасный, в начале даже роскошный, рост молодых лесонасаждений на степных почвах *Г. Н. Высоцкого* объясняется тем, что в начале, в первый год очистки, т. е. в первые года поддержания почвы между посадкой под черным паром, под насаждениями накапливается увеличенный запас почвенно-грунтовой влажности, которым затем, при увеличивающихся потребностях во влаге возрастающих насаждений, и пополняется недостаток входящей в почву влаги“. „Когда же насаждение, сильно повзрев под собою, влажность доступных глубин грунта, теряет ее запасные фонды, оно становится всецело в зависимость от влажности промокающего слоя почвы, значит от годового бюджета влаги“. „С этого критического момента, не имея вообще возможности понижать свои потребности во влаге, лесные насаждения начинают страдать и в года засушливые усиленно вымирают“. Дело, конечно, еще ухудшается, если горизонты, где развиваются корни, являются соленосными. Что касается песков, то мертвый горизонт в них обыкновенно отсутствует и грунт промачивается ежегодно насквозь до грунтовых вод или водоупорной прослойки. Обыкновенно в общем более толстая и более сухлюбивая растительность песчаных пространств, по предположению того же Высоцкого, расходует почвенно-грунтовую влагу медленнее, экономнее, чем растительность почв более плодородных и более высоко-влажгоемких, вырабатывающая при достатке влаги, гораздо большее количество органических веществ“.

„Песчаные пространства средн степей обыкновенно являются более богатыми грунтовой водой, чем соседние глинистые степи. Кажущаяся сухость песчаных пространств в сухой местности есть явление лишь наружное, почти поверхностное, такое же, как и кажущаяся большая сухость полевых почв-грунтов сравнительно с лесными“.

„Песчаные грунты представляют для движения грунтовых вод, при тех же условиях дренажа, гораздо больше свободы, чем грунты глинистые или лессовые, благодаря чему грунтовая вода является в них более подвижной“.

Вследствие этого в песках солевые скопления скорее выносятся, что обуславливает относительную выщелоченность песчаных почв-грунтов и прочность в них грунтовых вод. Эта особенность резко выражена, напр., близ Ханской Ставки Астраханской губ., где пресные благоприятные для древесной растительности пески почти межуются с громадными совершенно безжизненными площадями Хаки, занятыми солеными грядками, превращающимися летом в твердое серовато-белое совершенно голое плато.

Благодаря малой влагоемкости песка, вода им почти нацело может отдаваться растению. Вот цифры, полученные недавно Г. Геджсх'ом в С. Америке (опыты делались с подсолнечником, фасолью, клеверной и кукурузой; условия: температура воздуха 35° С, тоже почвы -40° С, относительная влажность 47%):

	Воды в почве.	Воды в увядающ. растении.	Воды в здоровом растении.
Песок	0,43%	72,6%	90,2%
Суглинок	11,0	76,9	90,2
Солонец	14,2	81,5	89,7
Глина	8,5	77,5	89,4
Лесс	9,7	80,6	89,3
Гумусовая почва	11,2	74,5	89,1.

По мере продолжения засухи, концентрация почвенных растворов увеличивается, уменьшается разница в осмотическом давлении протоплазмы и почвенного раствора и, наконец, последний становится настолько концентрированным, что начинает извлекать воду из растений.

Что касается резкой разницы между песком и глиною в пределе физиологической воды, то здесь дело сводится, главным образом, к роли капиллярной воды, так жадно удерживаемой глинистыми породами.

Способность растений извлекать воду из почвы уменьшается от ксерофитов (растения типичные для засушливых областей, xeros—сухой), к мезофитам (mesos—средний) и гидрофитам (hydor—вода), ибо последние, так сказать, наиболее избалованы влагой, требуют ее в избытке, в противном же случае, погибают (таковы болотные растения, имеющие ряд морфологических и анатомических особенностей, связанных с их образом жизни).

Особенности песчаных пространств для лесной растительности весьма важны, так как они дают возможность лесу проникать по песчаным почвам далеко внутрь степной полосы, где на других почвах-грунтах, помимо плавней-займищ и узких ущелий или оврагов, лес не может найти для себя сносных условий существования. Выше было сказано, что лесна является сравнительно нетребовательной к запасам грунтовой воды. Она поэтому довольно хорошо принимается даже по буграм песчаных пространств, в то время, как ель, пихта и лиственный лес, как более требовательные в этом отношении, могут развиваться лишь по впадинам, где грунтовые воды ближе.

Было бы ошибочно думать, что гидрологическая роль леса ограничивается тем, что он понижает уровень грунтовых вод, и что им поэтому можно пользоваться, в случае надобности, только как осушителем заболоченных пространств (так и было достигнуто осушение повтийских болот эвкалиптами и Гасконских и Солонских Ланд посадками сосны) или бояться посадок вообще в местностях и без того небогатых водой. Лесные и некоторые другие посадки незаменимы, как прием закрепления подвижных летучих песков и задержания роста оврагов, этих дренажных канав для безвредно стекающих в них грунтовых и поверхностных вод. Что касается гидрологической роли тех растительных формаций, которые последовательно сменялись в прошлом и сменяются теперь при заболачивании стоячих водоемов побережий и больших пространств (тундры), то рамки нашего очерка и самая тема заставляют о них огра-

ничиться почти лишь одним упоминанием (на русском языке на эту тему можно многое найти, напр., в работах г.г. *Танфильева*, *В. Н. Сукачева*, *А. Ф. Флорова*, *М. М. Юрьева*, *М. Д. Залесского* *) и нек. др.). Водный режим болот показывает много своеобразного **). Из русских журналов можно здесь указать на „Болотоведение“ (начал выходить с 1912 года и закончился 1914) и „Вестник Торфяного Дела“.

Ограничимся лишь приведением классификации болот Европейской России, следуя *Танфильеву*. Болота эти делятся на две большие группы: на болота, образующиеся под влиянием озерных, речных, грунтовых и ключевых вод, с одной стороны, и болота, живущие исключительно на счет вод атмосферных. Первую группу на Западе называют подводными, а вторую надводными. А так как вода влияет на образование болота того или иного типа своим составом, т. е. содержанием солей или отсутствием их, то обе наши группы можно назвать: первую подводными или жестководными, а вторую—надводными или мягководными болотами и торфяниками. Промежуточный тип образуют заболоченные елово-березовые леса, пользующиеся большим распространением на севере России.

Вторая группа, в состав которой входит тип болот и торфяников сфагновых (или „боровых“, „мхов“, „мшав“), никогда не образуется в местах, подверженных речным разливам, приносящим с собою растворимые в воде или взмученные в ней минеральные вещества. Эти болота, питающиеся, как уже замечено, водою атмосферною, можно назвать также болотами верховыми. В торфе из сфагнума золы содержится мало—обычно всего $1\frac{1}{2}$ —2%. Ключевые болота и торфяники можно наблюдать по окраинам поймы, у оснований склонов и холмов, вообще там, где имеются выходы ключей (железистых или известковистых). Торф таких болот часто бывает желтого и красного цвета, при чем на дне болота образуется даже бурый железняк. Под известковисто-ключевыми торфами обыкновенно можно найти известковый туф или мергель.

Артезианские воды.

Название „артезианские воды“ произошло от латинского имени провинции в южной Франции *Artesium* (ныне *Артуа*), где первая скважина, давшая такую, обладающую напором воду, была заложена в 1126 году.

Однако, эта скважина, может быть, древнейшая для Европы, не была первой вообще—бурением добывали артезианскую воду уже в древнем Египте, задолго до Р. Х. От египтян научился и Моисей „извлекать воду из камня“. Уже за 2000 лет до Р. Х. оазисы Фива, Гхарб и Дахель орошались артезианскою водою из многочисленных скважин, глубина которых достигала 200—300, а по сообщению Олимпиодора (первая половина V века по Р. Х.) даже до 500 локтей.

Артезианская вода иначе называется напорной, ибо она быстро подымается в трубе скважины, ее вскрышей, может дать более или менее сильный фонтан и даже вызвать катастрофу (самоизливающие—фонтанирующие скважины). Так, при бурении в Брянске был получен фонтан в несколько сажен высоту, дававший в первое время более 2-х миллионов ведер в сутки и выбросивший трубы. Условия образования артезианских вод чаще всего сводятся к таким двум случаям: 1) водоносный пласт (песок, трещиноватые или пористые песчаники, известняки) заключен между двумя водоупорными пластами (глиной, мелом или мергелем) и образует вместе с ними пологую мульду (синкликаль), 2) та же система имеет одностороннее падение (полови-

*) В данном случае я имею в виду условия геологического прошлого: см. *М. Д. Залесский*. Очерк по вопросу образования угля, Петроград, 1914 (изд. Геологического Комитета).

**) Из области практики осушения, см., напр., статью *А. Дубаха* в Мелиорационном журнале № 2, 1914, стр. 78—8.

на мульды или случай флексуры *)). Могут быть восходящие воды встречены в массивных породах, пересеченных трещинами (по сбросам и т. д.). Напор артезианские воды получают от разницы давлений. В самом деле, если взять воду, закупоренную в мульдобразно изогнутом пласте песка, то получится система двух сообщающихся сосудов. Если в таком сосуде сделать отверстие в соединительном колене (средняя часть мульды), то вода начнет фонтанировать. Области питания такой воды в системе сосудов будут восходящие ветви, а в природных условиях приподнятые части того же песка мульды. Для непрерывного фонтанирования необходимо возобновление запаса воды в ветвях сосуда. Это же необходимо и для природных условий. У артезианского бассейна должна быть область питания (противопологается области стока), т. е. область, где в выходящие на поверхность пески, может впитываться вода атмосферных осадков, озер, ручьев или рек. Отстоять эта область может на десятки, даже и сотни верст от скважины. Высота поднятия артезианской воды в трубах (иногда их приходится наращивать, если скважина фонтанирует) пьезометрическим уровнем (piedzo — значит давл.).

Остановится ли вода на глубине или будет выходить наружу, зависит прежде всего от того, лежит ли уровень воды в краях мульды выше уровня земной поверхности в данном месте или нет. Вот почему для одного и того же географического места скважина, заложенная на дне глубокой речной долины, может из того же водного горизонта дать воду самоизливающуюся, а на высоком берегу того же места вода эта остановится на глубине в скважине и ее придется выкачивать. Тем не менее уровень воды в той и другой скважине, отнесенный к постоянной точке (напр., к нулю репера данной реки или к уровню моря), окажется одинаковым. Чем выше поднимается вода, тем сильнее напор. Напор этот можно измерять наращивая трубу (поднятие на 10 метров отвечает 1 атмосфере) или непосредственно манометром. Так как пьезометрический уровень представляет собою результат равновесия столбов воды с одной стороны в скважине (относительно исчезающе узкое колено), с другой, в обширном, питающем бассейне, играющем роль водонапорной башни, то приливанием в артезианскую скважину воды нельзя изменить ее уровень: она эту воду будет поглощать как-бы бесследно. В этом отношении артезианские колодцы представляют существенное отличие от грунтовых, не обладающих напором. Так как приток в скважину воды зависит от напора, то этот напор будет равен нулю на поверхности пьезометрического уровня и будет, напротив, возрастать по мере того, как мы будем опускаться в скважину. Вот почему, опуская в скважину пьавку сильного насоса, мы можем получать все большие и большие количества воды. Вследствие влияния подземного трения и трения в трубе, предельная высота, на которую может подняться вода, даже при идеальных условиях будет всегда несколько ниже той, где лежит ее уровень в области питания. Это относится как к тем случаям, где отмечается пьезометрический уровень (в скважине или в наросших трубах), как таковой, так и к случаю фонтана. Понятно, что фонтан дает даже несколько меньшую величину, чем непосредственно уровень в наросшей трубе. Впрочем, высота фонтана тем более, чем меньше диаметр трубы.

Наши рассуждения о возможной предельной высоте подъема воды в скважинах только в том случае вполне справедливы, когда в мульде вода находится в покое (случай гидростатического равновесия). Если же вода начинает вытекать, то равновесие уже будет гидродинамическое и уровень покажет падение по прямой, проведенной от верхнего уровня к нижнему, выводному „отверстию“. Лучше всего это иллюстрировать на сосуде с жидкостью, у дна которого имеется горизонтально положенная трубка для стока и ряд манометрических открытых трубок, выходящих вертикально вверх из

*) В районе Петрограда имеется одностороннее падение пластов с артезианской водой. Из горизонтальных пластов артезианская вода получена в Алжире — пласты эти приподняты на склонах Атласа.

трубки горизонтальной *). Если жидкость будет течь, то уровень жидкости в манометрических трубках будет падать по мере удаления от сосуда и приближения к выходному отверстию (здесь уровень нуль). Уровни эти, понижающиеся по мере истощения запаса воды в сосуде, в каждый данный момент будут находиться на прямой, соединяющей уровень воды в сосуде с выводным отверстием горизонтальной трубки. На практике мы и имеем подобный случай, когда ряд артезианских скважин заложен вниз по падению крыльев мульды, или артезианский горизонт то здесь, то там дренируется речными долинами и оврагами. В этих последних местах артезианские воды выходят по пластам, обнаженным в речных долинах и оврагах, в виде обыкновенных ключей, а при неглубоком залегании могут утилизироваться обыкновенными грунтовыми колодцами. Вообще в таких случаях артезианские воды могут иметь столь слабый напор, что название артезианская вода им уже не может быть дано. При вычерчивании гидроизогипс, дающих нам представление о ходе пьезометрических уровней в разных участках артезианского бассейна, области естественного дренажа будут характеризоваться, вообще говоря, малыми напорами. Это условие в связи с изменчивыми условиями движения воды по водоносному пласту (=изменчивости внутреннего трения) вызывает то, что гидроизогипсы в артезианском бассейне образуют довольно сложную систему, с местными выпуклостями и впадинами. Приведем некоторые цифровые данные из русской практики. По наблюдениям *С. Н. Никитина* оказывается, что около девяностых годов прошлого столетия буровые скважины северной части г. Москвы и в области Яузы имеют уровень воды на высоте 128—129 и более метров, тогда как в скважинах Замоскворечья (т. е. в южной части города) уровень этот поднимается только до высоты 118—120 метров; причина такого понижения заключается, повидимому, в дренирующем действии р. Москвы, прорезывающей значительную толщу водоносных каменноугольных известняков. Другой пример для скважин, расположенных тоже в небольшом расстоянии друг от друга, относится к окрестностям Гатчины: 42—43 саж. близ деревни Парицы и Корпиково, 39 саж. близ деревни Сализи (6 верст к СЗ от Гатчины), 36—37 близ Гатчины и 33 на СВ от Гатчины.

Нужно сказать, что не всегда измерение воды в глубоких скважинах и определение их производительности (дебита) бывают безукоризненны в техническом отношении, что, в свою очередь, отзывается неблагоприятно на нашем картографическом материале. Остановимся на вопросе о взаимном влиянии скважин и об истощении водных запасов данного бассейна. При попеременной откачке воды из соседних колодцев или скважин, если только речь идет об одном и том же водном горизонте, замечается взаимное влияние. Это положение безразлично может быть приложено как к грунтовым, так и к артезианским водам. Базируется оно на том, что вода является жидкостью, способной передвигаться, а подток ее к дну колодца или скважины требует времени, если запасы ее (как особенно у грунтовых вод) невелики. При откачке происходит понижение уровня и подсосывание, могущее захватить и район, где находятся соседние скважины. Такое „подсосывание“ введено в систему хищнической эксплуатации нефтеносных горизонтов на соседних участках двух разных владельцев: каждый из них располагает свои первые скважины по границам участка и старается при бурении достигнуть нефти раньше своего соседа, чтобы сосать нефть и из его подземных владений....

Падение горизонта воды в артезианских скважинах с течением времени наблюдается во всех местах, где бы эти скважины не залегались. Так у нас можно назвать Ставропольскую губернию, степную часть Крымского полуострова, г. Киев и др. В некоторых случаях явление это обуславливается начавшимся истощением вековых запасов подземной воды, пополнение которых не поспевает за расходом, часто весьма неразумным (так в Ставропольской губ., за исключением при скважинах запорных при-

*) Можно в эти сосуды и трубки насыпать еще песка. В этом случае горизонтальную трубку надо сделать широкой.

способлений масса самоистекающей воды терзается и стекает в овраги и речки). В других случаях—и по видимому это бывает чаще—дело в технических недочетах оборудования или очистки скважин—вода подымается по затрубным пространствам, инфильтрирует безводные подземные горизонты, скважина особенно при форсированной откачке и мелкости песка, в котором установлен фильтр, забивается песком и т. д. Решить вопрос о причине или комплексе причин такого понижения напора и производительности скважины не всегда является делом легким. В частности иногда удается повысить производительность скважины, прибегая к промывке ее сильным пожарным насосом. Так, в североамериканском городе Саваннах, образцовом по своему водоснабжению, общая производительность всех буровых скважин в 1900 году была (ведра в сутки):

до промывки	1582325
после промывки	1813772
увеличение	231447

Для представления о том, насколько может упасть уровень глубоких артезианских колодцев, *) отчасти от взаимодействия периметров их подтока, приведу пример Парижа, где ныне имеется пять глубоких скважин. Скважина на Гренельской бойне, имеющая диаметр 30 см. вверху, 17 см. внизу, питается из водоносного горизонта в зеленых песках меловой системы на глубине 548 метров. При заложении ее в 1842 году производительность была 3200 куб. метров (260 тысяч ведер) в сутки у устья скважины (т. е. на высоте 37 метров). При наращивании труб до уровня 73 метров, получали дебит 1100 к. метров (89 тысяч ведер). Температура воды 28° С, т. е., примерно, на 17° выше средней годовой для Парижа. В 1852 г. вследствие падения в скважину желонки, дебит составлял всего 720 куб. метров (59 тысяч ведер). В 1856 году дебит возрос до 900 куб. метр. (73 тыс. ведер); 36 час. после пуска в дело скважины в Пасси (1861) производительность упала до 806 куб. метр. (66 тыс. ведер), а затем и 615 куб. метр. (50 тыс. вед.) на уровне почвы. В конце XIX столетия дебит был около 350 куб. метр. (29 тыс. ведер) на высоте 72,75 метров (скважина Пасси в 3 км. от Гренельской). Производительность скважины Пасси, близ Булонского леса, с начальным диаметром более крупным, составляла в начале 20000 куб. метр. (1 мил. 626 тыс. ведер) на уровне почвы, т. е. на высоте 53,50 м. Позже подача была регулирована на высоте 77,15 м. и составляла 6192 куб. м. (504 тысячи ведер). Однако, начиная с 1889 г., средняя производительность не достигала и 5000 куб. метров (407 тыс. вед.). Глубина этого колодца 580 метров (около 1/2 версты). Скважина на заводе Say, открытая в 1869 году, имеющая глубину 600 метров, давала воды 7200 куб. метр. (590 тыс. вед.) на высоте 55,30 метр. Уже много лет ее дебит стоит на 6000 куб. м. (488 тыс. вед.) в сутки. Температура воды 28° С.

В 1887 году была пробурена четвертая скважина в Chapelle. Ее глубина 718 м. Вода из тех же зеленых песков. Однако, спустя какой-нибудь месяц вследствие раздавливания труб, дебит упал до 2000 и даже 300 куб. метр. (163—24 тыс. ведер).

Наконец, в 1898 году скважина в Butte aux Cailles достигла зеленых песков на глубине 572 метров (509 метр. ниже уровня моря) и ее провизорный дебит исчислялся в 600 куб. метр. (49 тыс. вед.) в сутки.

Инженер Бельгран сделал попытку вычислить скорость просачивания по колебанию жесткости воды артезианских скважин Парижа и воды р. Эн в тех местах, где река проходит в области зеленых песков, достигнутых скважинами Парижа. Расстояние им принято

*) Кроме того, он колеблется по месяцам и годам, как грунтовые воды, но часто здесь наблюдается значительное запоздание и, кроме того, здесь надо принимать в расчет условия инфильтрации не близ скважин, а в области питания артезианского бассейна.

около 200 километров. Запаздывание*) (время просачивания) оказалось равным „многим месяцам“.

Определение дебита грунтовых и артезианских колодцев.

Дебит (производительность) колодца определяется обычно путем пробной откачки. Употребляются также и иные приемы: налив воды в грунтовый колодец (компенсация притока), прямые измерения фонтанирующих скважин и нек. др. При откачке наблюдается понижение уровня воды вокруг скважины, следующее концентрическими кругами, все выше и выше расположенными по мере удаления от ее центра. Поперечное сечение дает параболическую кривую. Воронка понижения тем больше, чем медленнее совершается радиальный подток к забою. Следовательно, при равных условиях в крунвовернистом песке понижение это будет меньше, чем в песке мелкого зерна. Указанное явление, разработанное хорошо теоретически**), может быть проверено по окружающим испытуемый колодец скважинам и продемонстрировано на модели *Ходлея*. Существенные черты ее устройства таковы. В цилиндрический сосуд, диаметром в 48 дюймов, сделанный из медной сетки, насыпается песок. Цилиндр этот помещается в резервуар несколько большего диаметра. По средней оси цилиндра в песок опущена трубка небольшого насоса с фильтром. На различных расстояниях от этой трубки в песке находятся многочисленные латунные трубочки с мелкими отверстиями, соединяющиеся с водомерными градуированными трубками, стоящими вертикально. Когда в резервуар налита вода, песок ею пропитался и начата откачка, то трубки эти ясно укажут своими уровнями воронку понижения. В тех случаях, когда порода, окружающая забой неоднородна или вода движется потоком по водоносному пласту, замечаются те или другие деформации в формах понижения, напр., ее горизонтальные сечения вместо круговых становятся эллиптическими.

Определение притока воды в единицу времени (дебита в секунду, минуту, час, сутки), конечно, чрезвычайно важно для практических надобностей, но в то же время вопрос этот, как чисто технический, не может быть введен полностью в наш краткий учебник, не имея возможности разбирать и его математических основ.

Приведем лишь самые основные формулы, следуя работе *А. А. Краснопольского*.

Формула дебита грунтового колодца (дана впервые в 1863 году французом *Дюпюи*, часто ошибочно приписывается *Тиму*):

$$Q = \frac{\pi f k}{\ln \frac{R}{r}} (H^2 - h^2) \quad (1)$$

Здесь Q — дебит.

f — коэффициент свободной для прохода воды профили (коэффициент пористости водоносной породы).

k — коэффициент скорости просачивания (фильтрации).

$(\ln = \log. \text{ nat.} — \text{знак натурального логарифма}).$

R — радиус воронки понижения грунтовой воды, вызванной откачкой.

r — диаметр колодца.

*) Это расстояние должно быть, приблизительно, удвоено для того, чтобы получить ширину синклинали понижения парижского бассейна: Париж находится, приблизительно, в середине этого бассейна. Зеленые пески (альбского яруса меловой системы) показываются на дневную поверхность по периферии этого бассейна.

**) См. особенно в неоднократно цитированной работе *А. А. Краснопольского* „Грунтовые и артезианские колодцы“ 1912 г. Здесь, между прочим, выводится одна и та же формула производительности как грунтового, так и артезианского колодца (стр. 104), и дается критика некоторых ходовых представлений гидротехников (напр., что производительность скважины находится в прямой зависимости от ее диаметра).

H —нормальная высота уровня грунтовой воды (высота до откачки).

h —высота столба воды в колодце после откачки.

(следовательно $H-h$ наблюдаемое понижение уровня при откачке).

Формулу расхода грунтового колодца можно представить еще так:

$$Q = \frac{2 \pi f k}{\ln \frac{R}{r}} \cdot \frac{H+h}{r} \cdot (H-h) \quad (2)$$

В этом виде формула расхода грунтового колодца является однородной с формулой расхода канав и артезианского колодца. Разница лишь в коэффициенте:

$$\text{для колодца} = \frac{2 \pi f k}{\ln \frac{R}{r}},$$

$$\text{а для канавы} = \frac{f k}{L} \quad (\text{здесь } L \text{ представляет рас-}$$

стояние до того пункта, с которого становится заметна депрессия воды).

В тождественном виде можно представить и формулу для артезианского колодца (см. ниже).

Вот какие выводы дает нам разбор формулы (1).

1) Производительность колодца, пропорциональная коэффициентам f и k , зависит более всего от мощности водоносного пласта H . Если полную откачку (до дна, до-суха) примем за 1, то откачка на $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ (т. е. при $h = \frac{1}{4} H$, $\frac{1}{2} H$ и $\frac{3}{4} H$) дает $\frac{15}{16}$, $\frac{12}{16}$ и $\frac{7}{16}$ этого количества.

2) В гораздо меньшей степени производительность колодца зависит от отношения $R : r$. В самом деле при $R : r = 10-100-1000-10000$, производительность колодца пропорциональна $1,36-0,68-0,45$ и $0,34$.

Так как отношение $R : r$ обыкновенно колеблется в пределах $100-2000$, то производительность колодца $= (0,7-0,4) kq (H^2-h^2)$ или в среднем $= 0,5 k f (H^2-h^2)$; полагая $f=0,25$, получим приблизительную производительность колодца $= 0,125 k (H^2-h^2)$. Увеличение поперечного сечения колодца очень мало увеличивает его производительность, ибо хотя площадь, по которой просачивается вода, увеличивается, но скорость этого просачивания уменьшается. Этот интересный вывод, вполне справедливый и для артезианских скважин, часто упускается из виду.

3. При глубоком колодце, или правильнее при большом H и малом понижении уровня ($H-h$), количество воды Q , может быть принято пропорциональным понижению уровня. Особенно хорошо это можно наблюдать при прогрессивно усиливающейся откачке из артезианских колодцев, как показал впервые гидротехник Дрю: нанося количества выкачиваемой воды по оси абсцисс, а соответствующие величины понижения уровня по оси ординат, получим почти строго прямую линию.

Для мелких колодцев приток не будет возрастать в прямой пропорциональности, но будет значительно меньше в зависимости от уменьшения поверхности питания, происшедшей вследствие понижения уровня грунтовых вод в ближайшей к колодцу местности.

4. В формулу (1) входит величина $f k$,—произведение коэффициентов скважности и скорости просачивания.

Для определения $f k$ можно поступить таким образом. Пусть колодец диаметром 2 метра при $H=7$ м. и $h=4,9$, дает 30 литров воды в секунду, т. е. имеет производительность $Q=0,03$ куб. м. Для определения $f k$ в определенном, положим, 20 м. расстоянии от оси колодца закладываем буровую скважину и наблюдаем уровень воды в ней при действии колодца; положим, уровень этот находится на 6 м. над ложем водоносного пласта.

Тогда из депрессионной кривой уровня (эта кривая есть парабола) получаем:

$$fk = \frac{Q \ln \frac{x}{r}}{\pi (z^2 - h^2)} = \frac{0,03 \cdot \ln \frac{20}{1}}{\pi (6^2 - 4,9^2)} = 0,0024$$

5. Некоторые считают, что существует пропорциональность между R —радиусом (радиус осушительного действия) влияния колодца и $H-h$, понижением уровня при откачке. Иначе говоря, для определенного грунта отношение $(H-h) : R$ есть величина постоянная (для дренажной канавы осушительное действие в данном грунте тоже пропорционально понижению уровня в канаве: $(H-h) : L = \text{const}$). Что касается величины R для данного колодца, то она определяется непосредственным наблюдением помощью мелких буровых скважин, доходящих лишь до воды. *Тим* нашел, что для крупнозернистого песка, при понижении уровня до 6 метров, расход воды из колодца не вызывает никакого практически заметного колебания уровня грунтовой воды на расстоянии 700 м.; исследования в Дармштадте показали, что для хрящеватого песка, при $H-h=2-3$ метра, $R=250$ метров. R обычно считают от 250 до 500 метров.

Время, потребное для движения воды на расстоянии R , есть время, потребное для установления равновесия. Время это обратно пропорционально коэффициенту скорости просачивания k . Так как k стоит в обратном соотношении с крупностью зерна водоносного слоя, то, при испытании производительности колодца, откачка должна производиться тем дольше, чем мелкозернистее порода водоносного пласта.

Пользуясь насосами, дающими определенный объем воды в единицу времени или вычерпывая воду желонкою (дно замазывается глиной, объем извлекаемой каждой раз воды может быть определен) *), делают три определения, пересчитываемые на суточные производительности K_1 , K_2 и K_3 , соответствующие числу T_1 , T_2 и T_3 суток от начала действия колодца. Для упрощения вычисления рекомендуют промежуток между вторым и первым наблюдениями сделать равным промежутку между третьим и вторым. При таких условиях предельная производительность колодца K выражается так

$$K = \frac{VK_2 K_3 (VK_2 + VK_3 - 2VK_1) T_3}{2 (VK_2 T_2 - VK_1 T_3 - VK_3 T_2)} \quad (3)$$

Что касается артезианских скважин, то наиболее простой способ измерить количество подаваемой ими на определенной высоте воды дают скважины фонтанирующие. Этот учет может быть сделан как непосредственным измерением объема протекающей за определенное время воды, так и путем подсчетов по таблицам из данных измерения высоты фонтана при определенном диаметре скважины и измерении диаметра струи, бьющей из горизонтальной трубы. Последние два приема по существу недостаточно точные, но простые по технике выполнения вместе с нужными таблицами желающие могут найти в цитированной мною книжке *Сликтера* (стр. 107—114).

Более точны приемы откачки, при чем таковая ведется на разных горизонтах и сопровождается наблюдениями над скоростью падения уровня. Прежде чем описать приемы такой работы (следуя *А. С. Сергееву*), остановимся на основных формулах расхода воды в артезианском колодце, из которого откачивают воду. Формула, данная *Дюпюи*, такова:

$$Q = \frac{2 \pi f k a (z-h)}{\ln \frac{x}{r}} \quad (4)$$

*) См. подробнее *А. С. Сергеев*. О способах испытания производительности (работы) буровых колодцев. Труды II-го Всероссийского Съезда деятелей по прикладной геологии. СПб. 1914, стр. 84—89, *А. В. Вельский*. Сельско-хозяйственная гидротехника, Петроград. 1915, изд. Девриена, стр. 106—108.

Здесь новыми для нас являются обозначения Z , x и a : x — есть абсцисса некоторой точки на депрессионной поверхности, Z — ордината этой же точки, a — мощность водоносного пласта.

Расход воды из артезианского слоя пропорционален толщине пласта и понижению уровня, т. е. действующему при устье напору. Этим последним артезианская скважина, заложенная в песчаном грунте, существенно отличается от напорного водопровода, где истечение пропорционально не напору, а корню квадратному из напора при устье трубы.

Можно расход воды в артезианской скважине выразить еще таким образом:

$$Q = \frac{2 \pi f k a}{\ln \frac{R}{r}} (H - h) \quad (5)$$

Количество воды, даваемой артезианской скважиной, почти не зависит от ее диаметра. При стоянии уровня воды в скважине ниже поверхности земли, но в пределах возможного присасывания, т. е. падения уровня не ниже 24 фута, испытания можно производить обыкновенным присасывающим насосом, откачивая различные количества воды при разной, определенной загрузке всасывающей трубы (если затруднительно измерить уровень воды веком).

Испытания таким путем дадут несколько постоянных уровней, соответствующих каждой известной откачке, и дадут возможность использовать их для графика. Расходы наносятся по оси абсцисс, а падение уровня по оси ординат. Для артезианских вод получается, как уже было указано, кривая чрезвычайно близкая к прямой. *Очевидно, что понижение уровня, пропорциональное количеству выкачиваемой воды, достигнет рано или поздно предельной величины. Наступит это тогда, когда откачиваемое из скважины количество воды сравняется с поступающей в нее через фильтр. По достижении этого момента дальнейшая откачка не будет давать больших количеств воды, а уровень воды в скважине станет быстро падать. На нашем графике наступит перелом.*

Нужно иметь в виду, что при откачке уровень в артезианской скважине падает чрезвычайно быстро, по окончании откачки он очень быстро и восстанавливается (часто в несколько секунд). На практике откачка воды производится большею частью штанговым насосом, загруженным в воду, измерения до понижения уровня, если позволяет размер пространства — между трубами насоса и скважины, производятся непосредственно веком. В этом случае к шнуру, перекинутому через блок, укрепленный над скважиной, прикрепляется деревянный поплавок, который опускается в скважину, а к другому концу шнура привязывается небольшой груз-указатель, служащий также для удержания в натяжке шнура. При таком устройстве весьма легко следить за всеми моментами падения уровня, а, поставив около груза рейку, можно через известные промежутки времени отмечать величины падения. В случаях, когда размер межтрубного пространства не позволяет спустить шнур с поплавком, можно применять при откачке различную загрузку насоса, т. е. сперва загрузить на определенную наименьшую глубину, положим на 5—10 футов ниже постоянного уровня воды, откачивая до приемного отверстия насоса более или менее продолжительное время, измерить выбранное количество воды, после чего опустить насос еще на 5 футов и, откачивая опять до приемного отверстия, измерить подачу.

Можно также прибегнуть и к такому удобному способу. В скважину опускается тонкая железная или лучше свинцовая трубка с тем расчетом, чтобы конец ее был погружен в воду дальше предполагаемого пониженного уровня. Верхний конец трубки, выходящий из скважины, соединяется уширенной частью с манометром и воздушным насосом, при чем манометр должен быть для незначительных давлений со шкалой, разделенной на футы. Воздушный насос можно взять самой простой конструкции, напр.,

велосипедный. Если мы будем воздушным насосом нагнетать в скважину воздух, то он, устремляясь вниз по трубке и преодолев давление столба воды выше ее нижнего отверстия, будет подниматься в скважину пузырями. Манометр отметит некоторое давление. Если начнем откачку воды, то с падением столба воды, будет падать и давление в манометре. Проведя такие наблюдения при откачке разных количеств воды, мы получим полную картину зависимости подачи и понижения уровня. В последнее время иногда вместо штангового насоса для откачки употребляют пневматический elevator „Мамут“, действующий сжатым воздухом. При откачке таким водоподъемником, наблюдения за изменением уровня не требуют никаких приспособлений, так как всякое изменение уровня во время работы отражается на показаниях манометра, установленного на воздушном резервуаре.

Указания к описанию колодцев и скважин.

Жизнь показывает, что регистрация колодцев и скважин у нас, да и за границей ведется неудовлетворительно. Между тем, благодаря этому дефекту в постановке дела, наука и практика лишаются иногда чрезвычайно ценных гидрологических и геологических документов. Сказанное особенно относится к глубоким скважинам, проводимым в местностях, имеющих мало естественных обнажений. Те обозначения пород, которые увековечиваются на страницах буровых журналов, являются часто лишь способными ввести в заблуждение. *Никогда нельзя ограничиваться одной номенклатурой встреченных „грунтов“, как бы она ни казалась бесспорной; эти грунты обязательно нужно сохранять с целью, при первой возможности, передать для исследования геологу. Необходимо особенно следить за тем, чтобы при образцах пород сохранялись также встреченные в них окаменелости (раковины моллюсков и др.), ибо только по этим остаткам возможно точное определение геологического возраста пластов и соответственное толкование стратиграфического положения водных горизонтов и их параллелизация в разных местностях.* Образцы нужно хранить тщательно занумерованными, должна быть названа скважина, из которой они взяты, глубина залегания и мощность и при том так, чтобы исключена была возможность их смешения друг с другом. Коллектировать их можно в коробки, коленкорные мешочки, баночки или большие плоские ящики, разбитые на ячейки. Ячейки эти должны иметь стенки, равные высоте ящика, отчего, при забивании такого ящика доскою, все ячейки окажутся изолированными. Все надписи должно делать чернилом или чернильным карандашом. В тех случаях, когда хотят представить разрез скважины или колодца особенно наглядно, можно поступать таким образом. Берут удлиненный плоский ящичек, закрываемый с одной стороны стеклом. В этот ящик-шкафчик, поставленный стоя, всыпают породы в порядке их залегания снизу вверх и с соблюдением масштаба их мощности. Это же самое можно сделать, взявши вместо ящика стеклянный цилиндр. На стекле можно сделать наклейки с указанием названия пород, их мощности, геологического возраста, водных горизонтов и т. д.

Не менее эффектно и наглядно могут быть доски, на которых породы приклеиваются клеем в виде порошков или осколков *). Нужно подчеркнуть, что эти способы сохранения, являясь очень наглядными, страдают тем, что породы могут смешиваться, получают примесь клея и т. д. Словом, научность коллекции страдает и поэтому сохранение образцов, как они вынуты из скважины, всегда обязательно: для моделей надо брать избытки. Всякая скважина или колодец должны быть по воз-

*) Влад. Чирвинский. Химический состав колонны осадочных пород г. Киева, Зап. Киев. Общ. Ест. 1917, т. XXVI, стр. 56—82. Здесь дан цветной рисунок, сделанный с подобной модели.

возможности охарактеризованы с точки зрения геологической, гидрологической и технической.

Согласно инженеру *Б. П. Жерве*, программа для собирания сведений об артезианских скважинах должна быть, примерно, такой: *)

1. Местонахождение скважины, географические координаты.
2. Характер местности.
3. Высота устья скважины над уровнем моря.
4. Кому принадлежит скважина.
5. Когда начаты и окончены работы.
6. Глубина скважины.
7. Высота под'ема воды над поверхностью земли или глубина стояния ее под поверхностью в случае, если скважина не фонтанирует.
8. Диаметр обсадных труб в дюймах и заложение их на глубину, с указанием отдельно каждой колонны труб.
9. Полное описание оборудования скважины, с указанием имеются ли запорные краны. Если поставлен насос, то указать его систему, диаметр цилиндра и труб; двигатель, фильтры.
10. Повижение уровня воды при откачке определенного количества воды.
11. Качество воды по отзывам потребителей и результаты качественного анализа, если таковой производился.
12. Количественный анализ воды.
13. Дебит фонтанирующей воды. Высота, на которой измерялся дебит. Кем производилось измерение и каким способом.
14. Предельное количество воды, которое можно взять из скважины насосом, причем дальнейшее понижение уровня воды уже не повлечет за собою увеличения дебита.
15. Температура воды; как и на какой глубине измерялась; изменяется ли в зависимости от времени года.
16. Размер потребления воды в данном хозяйстве.
17. Куда и для какой цели отводится излишек получаемой из скважины воды.
18. Не замечается ли уменьшение количества воды, даваемой скважиной. Если замечается, то в какой степени и по каким причинам.
19. Не наблюдается ли колебание дебита в зависимости от осадков, барометрического давления, температуры и т. д.
20. Кем проведена скважина, каким инструментом и каким способом (с промывкою забоя или без таковой).
21. Для какой цели проведена скважина.
22. Стоимость проведения скважины и оборудования ее под'емными приспособлениями.
23. Пройденные породы и водные горизонты с точным указанием, на какой глубине от поверхности; наименование пород, свойства и качества пройденных водных горизонтов (мощность, напор воды, качество ее и т. д.).
24. Эскиз скважины с нанесением данных, указанных в пунктах 6, 7, 8, 9, и 23 по масштабу.

*) Инж. *Б. П. Жерве*. О необходимости регистрации артезианских скважин. Труды Совета Мелиоративных С'ездов в России. Петроград, 1915, № 2, стр. 31 (вообще статья обнимает стр. 14—34 и может быть рекомендована вниманию читателя).

См. на ту же тему.

С. Н. Никитин. О необходимости и форме регистрации проводимых в России буровых скважин. Труды 1-го Всерос. С'езда по Прик. Геол. и Развед. делу. СПб. 1908, стр. 411—418.

М. Ф. Томашевский. Нужды бурового дела для целей разведки и устройства эксплуатационных скважин. Там же стр. 406—410.

Артезианские (и грунтовые) воды Европейской России.

Артезианские воды в России приобретают все большее и большее значение. На них начинает базироваться водоснабжение не только городов *), железнодорожных станций (особенно на дорогах Южных, Екатерининской, Владикавказской и Сибирской), заводов, но и так же многих селений, напр., в Ставропольской губ., в степной части Крымского полуострова, Курской губ. и др. Громадное развитие бурения получили в нефтеносных районах (тысячи буровых скважин) особенно в районах Баку и Грозного. Имеющийся громадный материал о скважинах и колодцах Европейской России до сих пор еще очень мало разработан, частью не напечатан или помещен в мало доступных изданиях или газетах. С. Н. Никитин, составивший карточный каталог о скважинах и колодцах Европейской России в течение 20 лет, не успел его закончить и умер. Дело его было продолжено другими и в 1911 году появилось ценное издание под редакцией инжен. А. А. Краснопольского, озаглавленное: С. Н. Никитин, Указатель литературы по буровым на воду скважинам в России (приложение к XXIX тому „Известий Геологического Комитета“). В этой книжке (239 стр.) указано 2675 №№ с 4051 ссылкой. Сведения заканчиваются 1910 годом. Весь материал цитирован по отдельным губерниям и областям. Этот справочник не содержит, однако, никаких данных кроме списка скважин и колодцев и литературных ссылок. Это остов, скелет. Нам нужна книга с возможно полной характеристикой всех регистрированных скважин колодцев и ключей, характеристикой всех отдельных артезианских бассейнов, их геологии, режима, свойств воды, с картами и профилями. Такому, примерно, запросу должно ответить издание тома III сборника „Естественные производительные силы России“, озаглавленного „Артезианские воды“ **).

На основании имеющегося материала, геолог С. Н. Никитин в 1900 году формулировал свои выводы об артезианских водах русской равнины следующим образом ***).

- 1) „Нет никаких оснований искать и получить артезианскую воду, во-первых, только самоистекающую, но и возможную для выгодной эксплуатации откачкой, на главных водоразделах, разделяющих крупные речные бассейны.
- 2) „Наиболее удачные скважины приурочены к речным долинам; на ровных же междуречных площадях степи можно, при благоприятных местных условиях, иметь артезианскую воду только самостоющую.
- 3) „Вообще говоря, мы не имеем в громадном большинстве местностей никаких оснований рассчитывать в средней России получить самоистекающую воду на ровных площадях, превышающих 70 саж. абсолютной высоты. Значение этого вывода выступает особенно рельефно, если мы будем помнить, что абсолютная высота большей части средне русских площадей (вне речных долин) колеблется в пределах между 60 и 120 саженими. Только в некотором очень ограниченном числе долин (во не водораздельных площадей) подъем артезианских вод превышает означенный предел. Наибольшей высоты (90 саж.) достигает вода в артезианских скважинах глубокой долины Десны у города Брянска, вследствие исключительной близости водораздельных площадей питания, достигающих 120 саж. высоты. Точно также, артезианские воды некоторых глубоких долин Симбирской губернии, окаймленных высокими холмами третичных водопоглощающих песков, достигают высоты 80 саж. (Гурьевка 82 саж.).

*) Исключительно артезианское водоснабжение у нас имеется в Киеве, Гомеле, Харькове, Чернигове, Брянске и Екатеринодаре. В большей или меньшей степени используют ключевые воды: Баку, Ставрополь, Москва, Новочеркасск и нек. др.

**) Издание это предпринято Комиссией по изучению естественных производительных сил России при Академии Наук.

***). С. Н. Никитин. Грунтовые и артезианские воды на Русской равнине. 4 лекции научно-популярных чтений по сельскому хозяйству и основ. для него наук под редакц. проф. В. В. Докучаева, СПб. 1900, стр. 65.

4) „Громадное большинство скважин, в том числе все скважины средней, юго-восточной и южной России, поднимают воду значительно ниже 10 саж. над уровнем главной реки данной местности. Только стоящие в исключительно благоприятных условиях скважины Брянска поднимают воду на высоту 15 саж. над рекою, а буровые скважины котловины озера Ильменя до 13 саж.

5) „Наивысший предел возможности выгодного пользования артезианскими водами вне речных долин, при условии употребления всасывающих паровых и ветряных двигателей, почти нигде не превышает абсолютную высоту 90 саж.; во многих же случаях высота эта значительно ниже“.

Те скважины, которые питаются водами, промывающими соленосные породы, у нас нередко служат для выварки поваренной соли. Таковы рассолы из девонской системы в Старой Руссе; из пестроцветных толщ Костромской и Вологодской губерний (Тотемские, Солигаличские варницы и др.), пермских отложений губерний: Казанской, Пермской (Соликамские рассолы) и Екатеринославской (Бахмутская котловина). Целый ряд статей под одинаковым заглавием: „О буровых и копаных колодцах казенных винных складов“ в „Записках СПб. Минералогического Общества“ поместил покойный профессор *И. Ф. Синцов*. Статьи эти стали появляться, начиная с 1902 года, и, насколько знаю, должны продолжать печататься и теперь, после его смерти. Проф. Синцов дает геологическое описание скважин и колодцев с указанием встреченных окаменелостей и часто также анализы доставляемой ими воды. Обычно породы из этих скважин проходили чрез его руки. Так как все колодцы и скважины, открываемые в связи с насаждением в России государственной винной монополии, были разбросаны в самых различных местах Европейской России, то и материал, охваченный проф. Синцовым, оказался чрезвычайно обширным. Вот почему всякому, интересующемуся подземными водами России, нужно быть знакомым с этими его трудами *).

В своем изложении я вынужден быть краток и потому ограничусь лишь немногими примерами. Начнем с района *Петрограда*. В Петрограде первый артезианский колодец был заложен в 1861 году на дворе здания экспедиции заготовления государственных бумаг. Глубина этого колодца 658 футов (94 саж.). Проведен он, главным образом, в толще кембрийских осадков (600 фут.=86 саж.), залегающих непосредственно на гранито-гнейс. Осадки эти имеют небольшое падение к югу и прикрываются наносами долины р. Невы. Бурение доказало, что под Петроградом три водонесных слоя. Верхний, с чистою пресною водою, был встречен на границе соприкосновения плывучих наносных песков с синев кембрийской глиною на глубине 88 фут. Второй горизонт из серого песчаника, с зернами шпатового железняка, дал небольшой приток слабо минерализованной воды с глубины 388 фут.

Третий горизонт заключен в крупнозернистом кварцевом песчанике. Он дал большой приток солоноватой воды. Появилась эта вода на 517 фут., а на глубине 609 и 638 ф. стала еще более обильней—до 300000 ведер в сутки (ныне около 250 тысяч). Температура этой воды около 11° С. Соленость воды этого горизонта увеличивается по мере углубления. В настоящее время в Петрограде и окрестностях имеется ряд скважин, эксплуатирующих воду из силурийских и кембрийских пород. Для водоснабжения однако в Петрограде попрежнему служит вода р. Невы. Проведены разные изыскания по водоснабжению Петрограда подземными водами из района силурийского плато между станциями Красное Село—Гатчина с одной стороны и

*) Нельзя не высказать пожелания, чтобы все эти, разновременные геологические работы, были сведены воедино и изданы в виде отдельного тома в большом числе экземпляров. Иначе и для специалиста работы эти сравнительно мало доступны.

Ямбургом—с другой *). В виду значительного интереса этих исследований, я несколько останавлиюсь на них, хотя здесь уже будет идти речь не столько об артезианских водах, сколько об обыкновенных грунтовых. Геологическое строение плато таково: под ледниковым моренным суглинком залегает мощная толща силурийских известняков, далее идут пески, песчаники и синяя глина кембрийского возраста. Глина эта представляет, как и в Петрограде, непрерывный водоупорный горизонт. Она имеет естественные выходы вдоль Финского залива. Все эти породы простираются с запада на восток и очень полого падают на юг.

Горизонты воды, лежащие ниже силурийских известняков, показывают характер артезианских. Обильные воды скопляются в трещиноватых силурийских известняках. Они дают массу ключей, а в южной части плато, где силур кроется мергелями и песчаниками девонского возраста, развиваются огромные болота. Ключевые воды проведены в Царское Село, Павловск, Петроград, Гатчину и Красносельский лагерь. Интересен оказался дебит ключей в верховьях р. Пудости, измеренный против дер. Показенпурсково:

За 1905—1906 (с 1 окт. по 1 окт., т. е. между осенними минимумами)	Дебит.	Атмосф. осадки.
1905—1906	3596 миллион. вед.	625 мм.
1906—1907	2206 " "	557 "
1907—1908	411 " "	482 "
1908—1909	1178,3 " "	460 "
1909—1910	1153,5 " "	590 "

Отсюда видно, что дебит этих ключей весьма резко колеблется, достигая 3596 мил. вед. за 1905—6 г. и падая до 411 мил. вед. за 1907—8 г., при чем колебание этого дебита не соответствует колебаниям общего количества атмосферных осадков, которое за эти годы сравнительно не очень много отличалось от среднего (543 мм.). Особенно резкое уменьшение дебита ключей, отмеченное в 1907—8 г., объясняется не минимальным количеством осадков, которых выпало больше (482 мм.), чем в следующем году (460), а условиями, в которых протекала зима, именно наступившие после сухой осени 1907 года до образования снежного покрова сильные морозы, вследствие которых явилось глубокое (до 2 аршин) промерзание почвы, далее, отсутствие оттепелей среди зимы, ясная солнечная погода в апреле 1908 года с сильными ночными заморозками сделали то, что значительная часть снежного покрова испарилась и растаяла, при чем земля оставалась промерзшей еще долго после того, как сошел снег.

Определение площади питания ключей верховьев Пудости в связи со знанием количества осадков и расхода воды в ключах за 5 лет дало возможность принять такие коэффициенты поглощения за отдельные годы:

1905/1906	31,5%
1906/1907	21,8%
1907/1908	4,7%
1908/1909	14,1%
1909/1910	10,8%

*) Подробнее см. М. Алтухов и М. Фейгин. Отчет об изысканиях ключевой воды для водоснабжения С.-Петербурга. СПб. 1902.

Л. Лутугин, В. Наливкин и Н. Погребов. Отзыв о книге Алтухова и Фейгина „Отчет об изысканиях ключевой воды для водоснабжения С.-Петербурга“, Изв. Геол. Моск. 1902, № 1.

Н. Ф. Погребов. О результатах гидрогеологических исследований, произведенных с целью выяснения вопроса о возможности снабжения С.-Петербурга так называемой ключевой водой, Тр. Всер. Съезда Деят. по Прикл. Геолог. в 1911 г., СПб. 1913.

Данными этой последней работы я ниже и воспользуюсь.

Итого в среднем за 5 лет коэффициент поглощения оказался равным 16,6‰, достигая до 31,5‰ в 1905/6 годах и уменьшаясь до поразительно малой величины 4,7‰ в 1907/1908 году.

Предполагая, что имеем на площади всего водосборного плато условия поглощения атмосферных осадков такие же, как в верховьях Пудости, и, пользуясь вышеприведенными коэффициентами поглощения, можем подсчитать величину пополнения запасов грунтовых вод для всего плато за данные годы, а именно: для наиболее благоприятного 1905/1906 года пополнение запаса этих вод на всем плато выразится, в круглых цифрах, 89 мил. вед. воды в сутки, в среднем за год; для наименее благоприятного 1907/1908 года—только 10 мил. вед. в сутки; в среднем за 5 лет наблюдений—40 мил. вед. воды в сутки. Даже на эти средние 40 миллионов ведер (а иногда и 10 мил. вед.) Петроград полностью рассчитывать не может, ибо из этого же запаса должно получать воду все многочисленное деревенское население плато, Красносельский лагерь и города: Гатчина, Царское Село, Павловск и Петроград. В то же время Петроград требует ныне воды до 40 миллионов ведер (по распоряжению министра П. А. Столыпина, приступлено было к его канализации, поглощающей, как известно, массу воды). Средняя жесткость воды 15° (немецких), воды бесцветны, прозрачны, без запаха и средней t° 5,5° С.

Водоснабжение *Москвы* основано на грунтовых водах, залегающих на юрской глинѣ. Центром, где собирается вода, являются Мытищи (верст 19 от Москвы). Здесьние ключи обратили на себя внимание очень давно, и еще Екатерина II в 1779 году приказала начать работы по сооружению Мытищинского водопровода. *) По наблюдениям *С. Н. Никитина*, в каменноугольных известняках Московского бассейна имеется несколько очень мощных водоносных горизонтов. Под Москвою, в области р. Яузы, артезианская вода поднимается до 128 и 129 метров высоты. Между тем в Замоскворечье (в южной части города), в пределах долины р. Москвы, скважины хотя и дают обильную воду, но собственный напор ее поднимает только до высоты 118—120 м. Абсолютная глубина водоносных горизонтов колеблется в пределах 112 и 118 м. для первого более слабого горизонта, а для другого более мощного—в пределах 65 и 35 м. Откачкой из скважин, прошедших оба эти горизонта, но не дающих самоистекающей струи по высоте заложения скважин, получалось количество воды, которое можно измерять десятками и даже сотнями тысяч ведер в сутки. Артезианские воды более верхних „каменноугольных“ горизонтов имеют малую жесткость. В более глубоких скважинах возрастает особенно количество серного ангидрида. Максимальное количество воды, откачиваемой ныне насосами Фарко, из песков достигало 3½ и даже 4 мил. вед. в сутки, но этого для Москвы оказалось мало. В 1903 году была пущена в город Москворецкая вода и количество воды, доставляемой из Мытищ, было убавлено до 2½ мил. вед. в сутки. Тем не менее из года-в год-стало наблюдаться прогрессивное увеличение жесткости воды, что вызвало к себе большое внимание и ряд исследований.

*) О подземных водах г. Москвы подробнее см. *С. Н. Никитин*, Каменноугольные отложения Подмосковного края и артезианские воды под Москвою. Тр. Геол. Ком. V, 5, 1890. Для инженера интересна брошюра, изданная Московской Городской Управой: инженер. *К. П. Карельским*. Водоснабжение г. Москвы в настоящее время и предстоящие задачи в ближайшем будущем. Москва 1909. Ныне водосборы близ с. Б. Мытищи, на правом берегу Яузы, параллельно ее течению состоят из 50 буровых колодцев, расположенных по прямой линии длиною всего в 300 саж.

ТАБЛИЦА № 5.

Средняя годовая жесткость воды в Мытищинских водосборных колодцах
(в немецких градусах).

№ колод.	1901 г.	1902 г.	1903 г.	1904 г.	1905 г.	1906 г.	1908 г.	
53	16,39	18,79	22,03	23,55	22,54	29,08	—	Юг.
55	16,26	19,49	24,00	24,35	23,13	28,45	33,14	
57	16,05	18,71	24,74	23,38	22,31	28,39	32,01	
59	17,01	19,62	24,39	27,74	—	27,39	32,68	
61	17,46	19,29	25,59	25,60	—	28,21	32,61	
64	16,10	19,21	—	—	—	26,98	31,79	
67	14,54	17,41	22,06	23,70	24,98	24,74	32,57	
69	12,88	13,62	20,16	18,93	23,24	24,44	30,90	
73	9,23	10,65	13,94	15,27	21,47	23,29	30,46	
75	8,07	9,62	11,67	12,25	17,88	22,01	27,73	
80	7,80	7,76	8,91	9,51	18,28	18,43	24,79	
84	7,99	7,55	7,94	8,58	12,38	13,17	23,55	
87	7,94	7,29	7,10	7,92	10,37	10,33	16,26	
91	8,25	7,61	7,43	7,67	10,40	8,55	13,40	
93	9,23	8,34	8,20	8,09	8,90	9,98	12,93	
95	8,99	8,41	8,53	8,86	9,54	10,43	13,69	
98	—	9,60	9,50	9,59	9,47	10,80	14,01	
101	—	9,12	9,44	8,92	9,65	10,62	15,24	
103	9,61	9,59	10,22	9,50	10,35	11,04	14,34	
105	11,01	11,16	10,51	10,53	11,17	12,18	15,86	Север
Общая	11,94	12,94	14,22	14,05	15,97	17,38	19,09	

Приведу теперь главные выводы из докладов В. Д. Соколова и С. А. Озерова XII Съезду Русских Естествоиспытателей и Врачей (январь 1910 г.), выступавших от имени городской комиссии по исследованию причин увеличения жесткости Мытищинской воды.

Полагая, что усиленная откачка является главной причиной этого явления, комиссия начала с того, что предложила уменьшить откачку и не превосходить 2-х миллионов ведер в сутки. Одни члены комиссии готовы были думать, что во всем виновата присасываемая к водосборным колодцам „под'юрская“ („каменноугольная“) вода более глубоких водоносных горизонтов, тогда как другие утверждали, что повышение Мытищинской воды совершается в толще отложений, залегающих над водоносными пластами Мытищинского бассейна, главным образом, за счет разложения известняков из пластов юрской системы.

Фактическая проверка в геологическом и химическом отношении этих предположений не оправдала их, вследствие чего комиссия остановилась на мысли искать причину порчи Мытищинской воды в процессах, совершающихся у поверхности водосборного бассейна, в особенности, на южном конце водосборной линии и далее к югу от нее, где находится обширное торфяное болото, представляющее собой источник р. Яузы. Во время начала работ комиссии, т. е. весной 1907 года, жесткость воды в южных колодцах водосборной линии Мытищинского водопровода достигала 28—29 немецких градусов, между тем как в северных колодцах вода продолжала оставаться мягкой. Усиление жесткости Мытищинской воды началось с южного конца водосборной линии и постепенно захватывает все большее число колодцев по направлению с юга на север. Параллельно возрастанию жесткости шло увеличение содержания в воде серного

ангидрида. Анализы вод из наблюдательных скважин, окружающих водосборную линию по различным радиусам и на различных расстояниях, указали на ограниченный район очага жесткой воды и нахождение его к югу от водосборной линии. Анализы вод из обсыхающего болота обратили внимание на Мытищинский торфяник, как на возможный очаг усиления жесткости вод водосборных колодцев. Опыт окисления на воздухе колчеданов Мытищинского торфа показал, что в течение 3-х месяцев из полкило торфа новообразуется до 90 граммов серного ангидрида и получается до 20 литров водной вытяжки с жесткостью от 60 до 100 немецких градусов.

Анализы образцов Мытищинского торфа указывают на значительное содержание в нем гипса, серного колчедана и углекислых солей кальция. Анализы вод Мытищинского водоносного горизонта по глубинам через каждые 5 фут, хотя и не дали решительных доводов в пользу порчи воды торфяником, но и не противоречили такому объяснению. Обратимся теперь к *Киеву*, где водоснабжение с Днепровской воды перешло на воду артезианскую. Такой переход, происшедший под давлением сильных холерных эпидемий, уже более 15 лет встречает то здесь, то там оппозицию, ибо воды, особенно в летнее время, в водопроводе недостаточно и ряд районов города часто остается без воды. Дебит скважин, вследствие взаимного влияния, засорения труб, а может и истощения запасов воды в ближайшей к Киеву части артезианского „подмелового“ и „под'юрского“ бассейнов мало-по-малу уменьшается и вызывает тревогу за будущее. *) Два водных горизонта грунтовых вод выходят выше уровня воды в Днепре и в настоящее время достаточно загрязнены. Воды в них немного — одна несколько выше пласта яруса пестрых глин, другой в песках над синей (спондиловой) глиной. Анализ воды этого последнего ниже нами дается. Что касается вод артезианских, то обычно их принято разбивать на три горизонта, хотя в действительности их больше. Первый горизонт—это воды со слабым напором из песков под спондиловой глиной третичного возраста, второй горизонт—ниже белого пишущего мела, из песков („подмеловая вода“), третий горизонт—из крупнозернистых песков юрского возраста, залегающих ниже юрских же глин (под'юрская вода). Все эти водные горизонты залегают ниже нулевого уровня Днепра: 1-й горизонт ниже, примерно, на 3 сажени, 2-й от 34 до 37 саж. и 3-й на глубине 92 саж. Вода всех этих горизонтов подымается в трубах выше уровня Днепра—подмеловая на (6—) 12 фут., под'юрская на 60 футов. **) Первая попытка артезианского бурения в Киеве была сделана в царствование Николая I в одной из крепостных башен Печерска. Артезианское бурение оживилось в Киеве с 1886 года, но первые попытки устройства артезианского водоснабжения относятся лишь к 1895 году. В настоящее время в водопровод поступает главным образом под'юрская вода, в меньшем количестве подмеловая (1-й артезианский горизонт не эксплуатируется вовсе, если не считать некоторых частных колодцев, тоже относящихся и к грунтовым водам). Воды каждого горизонта, как грунтового, так и артезианского, характеризуются своим химическим составом, вкусом, температурой и другими свойствами.

*) Подробнее о водах и водоносности пород территории Киева см., напр., *П. Тутковский*, о некоторых новых колодцах в Киеве, *Зап. Киев. Общ. Ест.* 1900, т. XV, вып. 2, т. XVI; *С. И. Коклик*, Подземные воды г. Киева, Киев 1909 (книжка в 126 стр.); *П. Н. Чирвинский*, Геологический путеводитель по городу Киеву и его окрестностям. Киев, 1911 Изд. Кружка Натур. при Киевск. Полит. Инст. (отгис из журнала „Природа Украины“, вып. I, 1911 г.); *Описание Киевского водопровода* (составлено Техн. Отд. Город. Общ. Самоупр. под редакц. инж. *П. Голубятникова*, Киев 1910); *В. Изанов*, Материалы по водоснабжению г. Киева, *Изв. Киев. Пол. Ин. ян.* 4, 1915, стр. 603. Систематические анализы меловых и под'юрских вод должны вскоре появиться в Трудах Киевской Гидрологической Комиссии. Надо признать, что существующие анализы недостаточно полны и дают простор для разных сомнений (так не дается величины постоянной жесткости, углекислоты свободной и связанной, железо обычно определяется вместе с алюминием, нет определений K_2O и Na_2O и др.) К сожалению, надо отметить, что сказанное часто приходится относить к громадному большинству анализов воды.

**) Эти отметки относятся к началу функционирования скважин.

В табл. 6 я привожу средние цифры, полученные из существующих анализов. *)

Т а б л и ц а 6.

Физические свойства.		А.	В.	С.	Д.
Температура в градусах Цельсия		14,8° (в июле 1891 года)	9,6°	10,6°	15,3°
Степень прозрачности	При наблюдении	Прозрачная	Прозрачная	Прозрачная	Прозрачная
	После стояния	Мутная	Мутноватая	Мутная	Мутная
Цвет		Бесцветна	Бесцветна	Бесцветна	Бесцветна
Запах		Без запаха	Сероводородный	Сероводородный	Сероводородный
Вкус		Железисто-солончатый, иногда без привкуса	Безразличный или железистый	Безразличный	Слегка щелочный
Химический состав (миллигр. на литр).					
Плотный остаток		680,36	380,58	342,38	361,98
Известь (CaO)		205,56	142,98	122,56	73,59
Магnezия (MgO)		27,64	18,71	22,78	35,94
Окись железа и глинозема		0,32	7,59	2,34	1,14
Закись железа (FeO)		4,15	—	1,43	—
Аммиак (NH ₃)		нет	0,24	0,28	0,52
Хлор (Cl)		39,79	8,07	4,43	22,17
Кремневая кислота (SiO ₂)		не опред.	33,58	26,80	8,40
Серная кислота (SO ₃)		132,40	6,69	1,94	20,04
Азотистая к. (N ₂ O ₅)		0,41	—	—	—
Азотная к. (N ₂ O ₅)		0,09	0,43	следи	следи
Окисляемость (O)		6,26	1,31	1,45	0,61
Общая жесткость в немецких градусах		24,5°	16,9°	15,5°	12,3°

Плотный остаток под'юрской воды, обработанный небольшим количеством дистиллированной воды, дает фильтрат, обладающий щелочным горько-солевым вкусом и послабляющим действием. В воде этой вероятно наличие сернокислого натрия, сернокислого магния (горькая соль) и кальция, хлористого натрия и др. солей. Что касается причины помутнения киевских артезианских вод после стояния, то вызывается это явление распадом закисных соединений железа. Сероводород, столь характерный для киевских вод, образуется или от разрушения серного колчедана или гипса, входящего часто в окружающих породах. Удалить его легко, проветривая (аэрируя)

*) Для грунтовой воды поверх спондиловой глины (А) использовано 5 анализов, для воды 1-го артезианского горизонта (В)—4 анализа, для воды 2 го артезианского горизонта (С)—8 анализов и для воды 3-го артезианского горизонта (Д)—5 анализов. Анализы относятся большей частью к разному времени и делались разными лицами.

воду, для чего нужно дать ей переливаться рядом небольших водопадов. Во время этого процесса происходит и газировка самой воды, улучшается ее вкус.

Если в Киеве подмеловая вода находится на сравнительно небольшой глубине, то та же вода в Бахмаче и Харькове опускается очень глубоко, благодаря тому, что осадочные породы, развитые в губерниях Киевской, Черниговской, Харьковской, Полтавской, Екатеринославской (частью) и Курской образуют складку, выпуклую вниз (иначе говоря, мульд, сйнклиналь). Наиболее пониженное место этой складки приходится, примерно, на линию Бахмач—Харьков. Если в Киеве толща мела очень незначительна (всего около 6 саж.), то в Харькове и Бахмаче она очень велика: в Харькове в среднем около 255 саж., т. е. $\frac{1}{4}$ версты, в Бахмаче 188 саж.

Вот цифры, известные для отдельных буровых в Харькове *).

ТАБЛИЦА 7.

	В С А Ж Е Н Я Х						
	1	2	3	4	5	6	Среднее
Абсолютная высота поверхности земли в месте бурения	+ 43,4	+ 52,6	+ 52,6	+ 60,6	+ 50,3	+ 48,9	+ 51,4
Верхняя поверхность мела	+ 24,4	+ 29,6	+ 29,4	+ 41,0	+ 32,9	+ 21,9	+ 29,9
Нижняя поверхность мела	—238,0	—222,1	—221,7	—210,9	—212,3	—244,3	—224,9
Мощность меловой толщи	262,4	251,7	251,1	251,9	245,2	266,2	254,8

Спросим себя, почему для одного места (Харькова в данном случае) цифры получаются несколько отличные для мощности меловой толщи и уровней ее залегания. Наиболее правдоподобен в данном случае такой ответ—частью это отвечает действительным отношениям, частью основано на ошибках в измерении глубины скважины. Действительно, перед отложением третичных пластов, налегающих у нас на мел, верхняя поверхность его подверглась размыванию, отчего мощность этой породы неравномерно изменялась иногда даже на коротких расстояниях (известно по наблюдениям в естественных разрезах в Киевской губернии, в Курской и др.). Вероятно также подобный размыв подлежащих мелу песков. Это одна причина. Другая—связана с невозможностью при глубоких бурениях придать вполне вертикальное положение обсадным трубам. По этой причине глубина скважины, измеренная по длине загруженных труб, не отвечает вполне точно истинной глубине скважины по вертикали. В какой мере сочетания действовали в каждом случае та или другая причина, сказать, конечно, трудно. В настоящее время в Харькове имеется двадцать с лишним глубоких (подмеловых) скважин. В водопровод поступает, кроме этой воды, еще вода родниковая, из песчаника Харьковского яруса выше спондиловой глины.

*) А. Федоровский. К вопросу о мощности меловой толщи в Харькове, Труды Харьковского Общ. Испытателей Природы, 1916, т. XLIX.

Анализ водопроводной воды в Харькове рисуется в следующем виде:

	1898	1901
	миллиграммов на литр	
Сухого остатка	521,6	500
Извести	107	120
Магнезии	29,8	30
Аммиака	0,1	0
Азотной кислоты	2,5	2
Азотистой кислоты	0,2	0
Хлора	16	20
Серной кислоты	77,6	99
Угльной кислоты связанной и полусвязанной	322,5	178
Хамелеона на окисление органических веществ	6,5	4,5
Общая жесткость	14,9°	15°
Постоянная жесткость	3,4°	—

Теперь перейдем к *Ставропольской губернии*. Ее пример послужит нам для характеристики хищнического пользования водой, как даром природы. Во всей Ставропольской губ. в августе 1909 года была зарегистрирована 191 скважина с общей суточной производительностью 3720000 ведер воды *). Гов. инж. А. Д. Стопневич, опираясь на ряд примеров крайне расточительного пользования самотечной артезианской водой в селениях (спуск излишков в балки и р. Куму), указывает, что из всех скважин, дающих в год (в 1909 г.) 1357800000 вед. воды, спускается бесполезно 650000000 ведер воды или, приблизительно, 813000 куб. саж. Значительное число скважин по губернии проведено для орошения огородов, садов и виноградников. По самому существу дела вода из этих скважин потребна лишь в течение 6 месяцев в году; в остальное время года вода ничем не закрытых скважин бесполезно отводится в Куму.... Инж. Стопневич, сообщая об этом в своей работе, отмечает, что, напр., в Калифорнии оросительные скважины, по закону, должны быть закрыты с 1 октября по 1 апреля каждого года. Он же говорит следующее: „Далеко не все скважины закрепляются обсадными трубами на всю глубину, благодаря чему, часто воды инфильтруются в выше лежащие водопроницаемые прослойки“. „Есть несколько скважин, которые и совсем не закреплены трубами“. „Некоторые владельцы, услышав разговоры о нерациональном пользовании водою, о недопустимости спуска излишков ее в р. Куму, порешили расходовать воду „рационально“, стали спускать ее в поглощающие скважины глубиною в 3—4 саж. до галечного горизонта, не догадываясь, что этот галечный слой обнажается по обрывам Кумы и ее притоков, так что цель достигнута не была, не говоря уже, конечно, о том, что перекачивание воды из одного пласта в другой отнюдь не является рациональным ее расходом“. Артезианская вода в Ставропольской губернии высоких качеств, залегает неглубоко (обычно на глубине всего 27—35 саж.) и идет самотеком. Водные горизонты подчинены верхнему отделу третичной системы.

Скажем теперь несколько слов об артезианских водах *Таврического полуострова*, равнинная часть которого сильно страдает от недостатка атмосферной воды. Здесь бурение на воду—явление обычное—в делах Таврической Губернской Земской Управы накоплены сведения уже не менее как о 500 буровых скважинах, из них 450 приходится на долю Перекопского уезда. По геологическим профилям проф. Н. Голловкинського легко видеть, что пласты третичных, меловых, юрских и др. осадочных

*) Агеев и Стопневич. Артезианские колодцы и сведения о буровых скважинах Ставропольской губ., Ставрополь 1909.

А. Д. Стопневич. Что сделано в России по вопросу об охране артезианских вод. Труды Терского Отд. Импер. Русск. Технич. Общества 1913.

пород в степной части Крыма лежат почти горизонтально и собраны в складки в югобережном хребте Яйла и ее предгорьях. Надо думать, что в этой приподнятой части пород, богатой обнажениями и ущельями, и происходит питание подземных горизонтов, вскрываемых буровыми скважинами в безводной степи. Отношения эти напоминают нам то, что наблюдается в Алжире. В Крыму артезианская вода находится на нескольких горизонтах: в повитических, сарматских и меловых слоях. Наиболее благоприятными местностями считаются, по мнению Головкинского, низменность к югу от Сиваша и Евпаторийская. Самым лучшим горизонтом в Крыму, как по количеству, так и по качеству воды считается меловой, но он трудно достижим в степной части Крыма, как показала Айбарская скважина (373 саж. глубиной), отчего его почти и не эксплуатируют, ограничиваясь водами менее глубокими. Еще в 1895 году проф. Головкинский насчитывал 264 буровых скважины, из которых 100 давали воду само-теком, 89 скважин имели воду до 10 саж. и эксплуатировались откачкой, в 11 скважинах вода стояла ниже 10 саж. и не добывалась, 14 скваж. оказалось безводными и о 50 скважинах сведений не было. Наблюдения над Таврическими скважинами показывают, что количество воды в них не только колеблется, но, повидимому, уменьшается.

Что касается *Донской области*, то в разных ее районах условия водоносности пород показывают много местных особенностей и потому не могут даже вкратце быть освещены в таком сжатом очерке, как наш *).

В заключение настоящей главы скажу несколько слов о подземных водах района города *Ревеля*, так как этого рода случай водоносности, как тип, еще не был у нас освещен ни одним примером **).

В ближайших окрестностях Ревеля протекает весьма богатый поток грунтовых вод, питаемый главным образом просачивающимися водами „Верхнего Озера“. Поток движется в ледниковых песках, собранных на поверхности в дюнные скопления. Вода высоких качеств, вполне стерильная. Замечу, что в некоторых случаях рекомендуют получать „искусственные грунтовые воды“ в песках, налегающих на глины, заставляя их просачиваться из устроенного в песчаной местности пруда ***), т. е. осуществляют то, что сама природа создала для Ревеля.

Способы образования грунтовых и артезианских вод.

Вопрос о способах образования грунтовых и артезианских вод занимает исследователей давно, но единодушие мнений в этой сфере не может считаться вполне достигнутым. На протяжении всего того, что до сих пор было нами написано, однако, очевидно, что главным питанием таких вод является капельно-жидкая вода из атмосферы и вода, образующаяся от таяния снегов. Сообразно с этим и наиболее важной гипотезой образования грунтовых и артезианских вод является *гипотеза инфильтрационная* (*infiltrare*—просачиваться, впитываться) ****). В пользу ее говорит очень много фактов и прежде всего параллелизм в колебаниях уровня грунтовых вод и условиях просачивания: при благоприятных условиях просачивания уровень этот повышается. Чем поверхностнее залегает водный горизонт и чем водопроницаемое вмещающий его грунт, тем отчетливее и одновременнее это колебание. В той или иной

*) Желавшие благоволят обратиться, напр., к ряду статей в „Северо-Кавказском Межпериодическом Бюллетене (Новочеркасск), начиная с 1916 года, а также к изданиям „Части Земельных Улучшений Вседел. войска Донского“.

**) Сведения заимствую из брошюры проф. *Б. К. Досса*, Заключение о возможности получения грунтовой воды для водоснабжения г. Ревеля, Ревель 1912 года.

***) *В. Ф. Иванов*, Добывание искусственной грунтовой и артезианской воды, Труды 11-го Всерос. Съезда деят. по прикл. геологии, СПб. 1914 вып. 2.

****) Впервые эта гипотеза была высказана римлянином *Марком Витрувием Полием* в сочинении „De architectura“.

форме такой параллелизм наблюдается и для более глубоких горизонтов с той лишь разницею, что здесь происходит запаздывание, а для артезианских горизонтов количество, принимаемых к учету осадков, должно относиться не к области истока, а к области питания артезианского бассейна. Вообще гипотеза инфильтрационная настолько проста и очевидна по своей идее, что ближе на ней останавливаться и в настоящей главе я не считаю нужным тем более, что даже специальные случаи инфильтрации — сокрытие рек в трещиноватых известняках, в галечнике, питание подземных рек из озер (случай близ г. Ревеля) нами уже были своевременно отмечены. Больше споров возбуждает гипотеза конденсационная (*condensare* — сгущать), выдвинутая впервые *Отто Фольгером* (1877), в одно время считавшаяся отвергнутой и вновь возродившаяся с теми или другими видоизменениями в трудах различных ученых, в частности многих русских (проф. *Головкинский*, *Зибольд*, *Сперанский-Красенинников*, *Метелицын*, *Марченко*, *А. Ф. Лебедев*, *П. В. Отоцкий*). Гипотеза эта, как дополнение к инфильтрационной, заслуживает полного внимания и подтверждается, как полевыми, так и лабораторными опытами. Значение этой гипотезы выдвигается особенно для таких засушливых местностей, как наш юг, юго-восток и Туркестан. В одной из своих статей *) проф. *Глушков* пишет: „Замечательно, что те русские исследователи (*А. Измайльский* и *Г. Н. Высоцкий*), которые нанесли особенно тяжелый удар инфильтрационной гипотезе открытием на степной равнине между поверхностью почвы и уровнем грунтовых вод слоя грунта почти предельно-сухого (влажность его не изменяется) круглый год, являясь в то же время сторонниками этой гипотезы“. „Опираясь на факт отсутствия „мертвого горизонта“ (по терминологии *Высоцкого*) под разного рода мелкими депрессиями степи (блюдны, вершинные западины, питающие ложины и т. п.), оба исследователя полагают, что именно под ними происходит сквозное промачивание грунта и они таким образом служат как-бы спускными трубами, посредством которых происходит питание грунтовых вод на степных водоразделах“.

Ф. И. Зибольд, производя подготовительные работы по облесению *Феодосийских* горных склонов, обратил внимание на целый ряд громадных щелевых куч, имевших, повидимому, не случайное происхождение. Исследовав эти кучи, он пришел к заключению, что 1) они представляют древние гидротехнические сооружения, имеющие назначение служить в жаркое время года конденсаторами водяных паров атмосферного воздуха, 2) кучи эти устраивались на выходах скал для получения водопропорного дна, чем объясняется кажущееся отсутствие порядка в расположении куч на скалах, 3) собиравшаяся на дне влага отводилась к местам потребления гончарными трубами, остатки которых были найдены при раскапывании куч травщиками, 4) кроме указанной функции, кучи также служили для сбора и накопления жидких и твердых осадков. **). Интерес представляют работы *А. Ф. Лебедева*, из которых одна напечатана несколько лет назад ***) , а другая вышла только что ****). Мы сделаем из первой некоторые заимствования. При конденсации водяных паров атмосферы в почве и грунтах, вообще говоря, употреблялись следующие методы. 1) Лизиметрический метод (*Гропп*, *Вольни*, *Головкинский*, *Бараков* и др.). Он имеет ту

*) Гидрологический Вестник, Петроград 1915, № 1, стр. 5.

**) *Ф. И. Зибольд*, Роль подземной росы в водоснабжении г. Феодосии, Труды опытных лесничеств 1905. Сравни *Н. Головкинский*, „Наблюдение над осадками в почве“.

***) *А. Ф. Лебедев*, Значение парообразной воды в режиме почвенных и грунтовых вод. Труды по сельско-хозяйственной метеорологии 1913, вып. XII, также Записки Имп. Общ. Сел. Хоз. Южной России, 1914 г., № 5—6, стр. 69—101; № 7—8, стр. 58—85 (подробное извлечение). Гидрологический Вестник, 1915, № 1, стр. 17—20 (реферат).

****) Он же. Передвижение воды в почвах и грунтах, 1919 г. Известия Донского Сельско-Хозяйственного Института, 1918 год, том 3 (220 стр.), изд. кооперат. „Единение“, Ростов на Дону 1919 г. Здесь читатель найдет хороший историко-критический очерк гипотез образования грунтовых вод. Очерк этот сжатый, но содержит перечень главных авторов, посвящавших свой труд этому вопросу и ссылки на главные их работы.

слабую сторону, что практиковавшийся учет одного просачивания без учета влагоемкости почвы и ее влажности вообще не достаточен.

2) Метод, основанный на изучении изменений влажности различных горизонтов почв в естественных условиях. Этим методом пользовались у нас *Близнин, Измайльский, Широких*. Метод позволяет, повидимому, уловить изменения влажности в различных горизонтах почвы, происходящие благодаря передвижению в почве воды в парообразной форме и конденсации этой воды в соответствующих слоях.

3) Метод *А. Ф. Лебедева*. В его основе лежит определение относительной влажности почвенного воздуха, соответственной температуры его, а также той и другой в атмосферном воздухе с помощью самопишущих приборов. Такие приборы специально для почв были конструированы г. Лебедевым по типу Рихаровских (волосной гигрограф и термограф). Пользуясь психрометрическими таблицами, можно было переводить влажность воздуха на упругость водяного пара в мм. ртутного столба. Опыты показали, что относительная влажность почвенного воздуха остается равной 100, пока в почве содержится воды больше, чем это соответствует максимальной гигроскопичности данной почвы при данной температуре. В то время как в лесу, уже при влажности в 7,8%, относительная влажность менее 100, в песке еще при 0,52% относительная влажность=100 и лишь при 0,25% делается меньше 100 (максимальная гигроскопичность взятого песка=0,33%). При одной и той же влажности почвы относительная влажность воздуха в почве увеличивается с увеличением температуры почвы и наоборот. Даже в случаях крайней сухости почв давление водяных паров в почвенном воздухе достигает огромных величин, 85—180 мм., при тех температурах, до которых нагреваются поверхностные слои почв в течение летнего и частью осеннего и весеннего периодов (опыты велись в Одессе).

В следующих нижележащих слоях почвы, где относительная влажность почвы уже всегда=100, упругость водяных паров тоже велика, достигая 25—40 мм. в весенне-летне-осеннем периоде. Абсолютная влажность атмосферы колеблется от 8—9 мм. весной и до 12—15 мм. летом и ранней осенью. При этих условиях конденсация водяного пара в почвенном воздухе днем невозможна, но ночью при падении температуры и упругости водяного пара в порах почвы может наступить. Ближайшее исследование этого вопроса показывает, что в течение года число дней, когда абсолютная влажность атмосферы бывает больше упругости водяных паров, содержащихся в поверхностном слое почвы, достигает значит. величины (в 1896 г.—126 дней, в 1897—162 дня, в 1898—179 дней в Одессе). Однако это лишь качественное решение вопроса. Для ответа же на то, насколько может этот источник играть роль в балансе почвенной влаги, автором сделаны лишь ориентировочные опыты в небольшом числе. Для этого он пользовался стаканчиками объемом около 30 куб. см., в которые насыпалась почва, имеющая влажность, превосходящую на 4—5% максимальную для нее (5,12%). Стаканчики с вечера взвешивались и выставлялись на ночь погруженными в почву. Утреннее взвешивание после ясных тихих ночей дало в отдельных опытах прибавь воды в мм.: в апреле—0,32 мм., 0,48; в мае 0,23 мм. и 0,48; в июне 0,53 и 0,39; в июле 0,62 мм.; в августе 0,16 мм.; в сентябре 0,43, 0,41, 0,24, 0,12; в октябре 0,26, 0,46 и 0,16 мм. Если примем, что интенсивность конденсации выражается 0,3—0,5 мм. осадков (в условиях Одессы), то при 200 случаях в год количество воды, приобретаемое почвой таким образом, будет равно 60—100 мм., что при 400 мм. осадков для Одессы представляет очень большую величину (15—25%). Следствием распределения упругостей водяного пара в различных слоях почвы и грунта должно быть передвижение выды в парообразном состоянии. Зимой поток парообразной воды направляется сверху вверх, летом—обратно. По мнению *А. Ф. Лебедева*, таким притягательным поясом циркуляции потоков должен являться пояс постоянной температуры, равной средней годовой температуре данного места. С его точки зрения следование „верховодки“ за рельефом местности объясняется так: слой

с постоянной годичной температурой должна повторять рельеф местности, а вместе с ним и верховодка, образующаяся в нем. Так как амплитуды почв с глубиной уменьшаются, то и рельеф горизонта с постоянной температурой будет несколько сглажен сравнительно с рельефом местности—это же свойство характеризует и рельеф верховодки.

Фактом, стоящим в противоречии с гипотезой инфильтрации, является довольно частое отсутствие водоупорного ложа у поверхностных вод. В этих случаях вода как-бы висит в однородной породе. По Лебедеву, это опять объясняется тем, что грунтовая вода образуется там, где грунт имеет минимальную упругость водяных паров и если этот горизонт не совпадает с водонепроницаемым пластом, то мы и наблюдаем висющую грунтовую воду. Чтобы иллюстрировать образование грунтовых вод путем конденсации водяных паров, передвигающихся сверху и снизу к слою с минимальной упругостью водяного пара, произведен был следующий опыт. В стеклянную трубку диаметром $1\frac{1}{2}$ см. насыпался слой мелкого сухого песка, высотой около 10 см.; затем посредством длинной воронки на песок наливалась вода, пока влажность песка не достигала почти полной влагоемкости. Тогда на сырой песок вновь насыпался слой воздушно-сухого песка высотой около 25 см. На высоте около 22—26 см. трубка была окружена холодильником длиной около 4 см. Трубка закрывалась каучуковой пробкой с двумя стеклянными трубочками. Через эти трубочки протягивался воздух, насыщенный парами воды. Трубка и промывалка, через которую протягивался воздух, насыщенный парами воды, помещались в термостат с температурой 26° , а через холодильник пропускалась вода, имевшая температуру 9° . Таким образом, упругость водяного пара в трубке была такова: в нижней и верхней частях ее, находящихся при 26° , давление это должно быть 25 мм., в части, охлажденной холодильником, до 9° —8,6 мм. Как результат двухстороннего движения водяных паров к поясу меньшей их упругости и конденсации в области холодного кольца, уже через сутки наблюдалось образование резко очерченного кольца сырого песка.

„Аналогичное должно происходить в природе“, прибавляет А. Ф. Лебедев. „Конечно, в естественных условиях разность упругости водяного пара, отнесенная к определенной единице (градиент) будет в огромное число меньше, чем та же величина в нашем опыте, но за то природа располагает временем, которое также в огромное число раз превышает продолжительность нашего опыта“. Далее А. Ф. Лебедев вступает уже на достаточно шаткую почву рассуждений о том, что более глубокие водные горизонты (в том числе артезианские) образуются на счет конденсации вод ювенильных (по Зюссу), т. е. тех, которые выделяются в газо—и парообразном состоянии магмами. Он полагает, что конденсация и здесь происходит по горизонталям с относительно низкой температурой (имеющим большой термический градиент *).

„Эти воды, поднимаясь из недр земли, непрерывно увеличивают количество поверхностных (вадозных по Зюссу) и атмосферных вол“.

„Устанавливается таким образом постоянная и весьма тесная связь между вадозными и ювенильными водами“.

Теперь обратимся к одной серии опытов П. В. Отоцкого, доказывающих большую важность изменения упругости почвенных газов **). Дословно он говорит следующее. „Наиболее любопытные результаты получились при исследовании вопроса об осадках. С самого начала выяснилось, что смачивание поверхности почвы небольшим

*) Термическим градиентом называют вертикальное расстояние ниже слоя с постоянной годовой температурой, на котором наблюдается повышение температуры на один градус Цельсия. Обычно его выражают в метрах или саженях. Повышение температуры вызывается „подземным жаром“. Этим объясняется почему глубокие артезианские воды имеют температуру горизонтов вышележащих (ср. для Киева температуру подюрского и подмелового горизонтов).

**) П. Отоцкий. Современные проблемы научной гидрогеологии, Гидрологический Вестник, Петроград 1915 г. № 1, стр. 12.

количеством воды не отражается на уровне в трубке. Но когда количество приливаемой воды настолько значительно, что насыщает хотя бы не толстый слой почвы, эффект получается чрезвычайный. Так, напр., когда 3 января 1906 года на поверхность почвы было вылит 500 куб. см. воды, соответствующее 2,5 см. осадков, вода в трубке поднялась через 20 мин. на 5 см. и затем продолжала подниматься со скоростью 4—6 мм. в секунду; к вечеру уровень поднялся до высоты 31,9 см.; после этого и в последующие дни он стал медленно понижаться. В то же время сквозного промачивания замечено не было, как не было увеличения мощности водоносного слоя^{*)}. „Насыщенным водою оказался лишь верхний слой, нижняя граница которого оставалась неизменной, тогда как верхняя медленно высыхала. Когда высыхание доходило до известного предела, уровень в трубке начинал быстро падать до нормы“. „Уже эти факты наводили на мысль, что роль осадков не в непосредственном обогащении грунтовой воды, а какая то косвенная; что, может быть, важны не самые осадки, а факт закупорки или поверхности почвы“. „Для проверки ставились такие опыты: 1) к верхнему ранту цилиндров с почвой плотно притирались стеклянные пластины и 2) поверхность почвы заливалась парафином. В обоих случаях эффект получался совершенно аналогичный прилитию воды“. Когда пластинка сдвигалась или слой парафина прорывался, уровень также быстро приходил в норму“.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ. Предварительные замечания.

Здесь будет речь только о минеральных водах подземного происхождения, но отнюдь не водах океанов, морей или соленых озер. Прежде всего следует заметить, что „минеральная вода“—термин несколько неопределенный, ибо идеально чистой воды, не содержащей в растворе никаких составных частей (вода дистиллированная), в природе не наблюдается вовсе. Даже вода дождевая, не бывшая в соприкосновении с различными горными породами, содержит в себе те или другие вещества (газы атмосферы и др.). Что же касается вод подземных, в меньшей степени вод рек и пресных озер, то воды эти всегда в большей или меньшей степени минерализованы (см. напр., выше данные по составу под'юрской и подмеловой воды в Киеве). При выпаривании (сгущении) такой воды из нее начинают выпадать разные соли.

Из них чаще всего встречаются углесоли (карбонаты) кальция и магния, сернокислый кальций (гипс), сернокислый магний, поваренная соль (хлористый натрий) и нек. др. Так, из жестких вод (т. е. вод, плохо мылящихся, богатых карбонатами кальция и магния, гипсом) образуются накипи в котлах, самоварах и чайниках. Иногда эти карбонаты выпадают в кристаллическом виде, в виде красивых натеков в известковых пещерах или при выходе горячих ключей, когда с потерей полусвязанной угольной кислоты уменьшается растворимость нейтрального карбоната и он начинает отлагаться. Минералообразование из горячих вод, часто на больших глубинах, невидимо для наших глаз совершалось и совершается в очень широком масштабе. Благодаря горообразовательным процессам, выражающимся в складчатости пластов земли, сбросовых перемещениях и благодаря последующему размыву горных краев и вулканов мы имеем возможность судить о результатах деятельности этих подземных горячих минеральных вод в давно прошедшие геологические периоды. Если согласно Де-Лонэ мы можем назвать минеральный источник „минеральной жилой в движении“, то самую минеральную жилу очень часто имеем право считать „окаменевшим минеральным источником“. Этого рода горячие источники ювенильных (девственных)

^{*)} Под'ем воды, о котором была речь, наблюдался лишь в стеклянной трубке, опущенной в цилиндр с породой, и игравшей роль разведочной (сметровой) буровой.

вод, выходящие из недр земли, несли в себе различные металлические элементы, окислы, соли и отлагали их в виде различных минералов. Так образовались очень многие скопления рудных минералов (руды железа, свинца, цинка, серебра, меди, марганца, золота, ртути, сурьмы и друг.), обычно сопровождаемые минералами не относимыми к таковым (кварц, карбонаты, барит, плавиковый шпат и др.), но образовавшимися тем же водным путем. Желание распарить задачи гидрогеологического исследования в область минералообразования и далее метаморфизма—завело бы нас чрезвычайно далеко, что в нашем очерке мы делать не намерены—за этого рода приложениями гидрогеологии придется отослать читателя к работам по описательной и химической минералогии, к петрографии и к курсам рудных месторождений.

Температура минеральных вод.

В виду того, что среди минеральных источников нередко встречаются воды горячие, я останавлиюсь несколько ближе на вопросе о температуре подземных вод. Уже было указано, что ниже слоя постоянной годовой температуры замечается по мере дальнейшего углубления повышение температуры. Это доказано измерениями в глубоких буровых скважинах, в рудниках и туннелях *) самых различных частей земного шара. Так, глубокая буровая скважина в Парушовицах в Силезии имела такие температуры на разных глубинах:

Глубина в метрах	Температура в градусах Цельсия
6	12,1
285	18,9
595	28,8
905	35,8
1215	46,4
1525	53,8
1835	65,0
1959	69,3.

Если вычислить на основании этих данных величину градиента для различных глубин, то получим следующее:

Глубина в метрах	Градиент: метров на 1° Цельсия
от 0 до 6	0,5
" 6 " 285	41,0
" 285 " 595	31,3
" 595 " 905	44,3
" 905 " 1215	29,2
" 1215 " 1525	41,9
" 1525 " 1835	27,7
" 1835 " 1959	29,0.

В среднем геотермический градиент для этой скважины оказался равным 31,82 метра. Почти эта же величина (30,80) получена также для глубочайшей в мире скважины, именно Чуховской (2240 метр.), находящейся всего в 10 километрах от Парушовицкой. Обе скважины проходили не изверженные, а нормальные осадочные (каменноугольные) породы. В Парушовицкой скважине встречены четыре притока вод:

*) Для скважин можно рекомендовать „термограф-лилипут“, описанный в статье горн. инж. Л. Ячевского, Опыт применения металлического термографа-лилипута к производству геотермических наблюдений, Горный Журнал 1912, кн. 8.

на 528 метр.

„ 1026 „
„ 1841 „
„ 2032 „

В вулканических областях возрастание температуры с глубиною идет еще более быстрее. Из всего сказанного становится понятным, что воды из больших глубин, независимо от того водозного ли, т. е. поверхностного или ювенильного происхождения, должны иметь высокую температуру. Горячие воды, ибо растворяющее их действие повышается, почти всегда бывают и сильно минерализованы. Вот почему они и носят название термominеральных вод. Эти воды уже издавна получили свою славу при лечении различных болезней, как путем внутреннего, так и внешнего применения, т. е. для питья и для ванн.

Горячие воды получают доступ на дневную поверхность преимущественно в областях, где вулканическая деятельность имела еще сравнительно недавно свое место, где еще не зазечились трещины, по которым такая вода может находить себе пути. Вот почему на Кавказе много горячих источников, а на Урале, как горном крае с давно угасшей вулканической деятельностью, они совсем отсутствуют.

Рано или поздно эта участь постигнет, впрочем, и Кавказ, ибо было время, когда термальная деятельность была в разгаре и на Урале: последнее известно по соответственным изменениям пород и ключевым осадкам.

Основы классификации минеральных вод.

Проведение удовлетворительной классификации минеральных вод встречает много трудностей. Частью эти трудности коренятся в разборе аналитическо-химического материала, частью в разногласиях о происхождении самих вод (вадозное, ювенильное или смешанное) и их составных частей. Красной нитью через все анализы природных вод проходит вопрос о том, как следует толковать цифры, даваемые химическим анализом. Анализ дает нам, напр., то или другое содержание кислотных ангидридов, именно угольного, серного, хлора и нек. др. С другой стороны имеются те или другие основные группы—известь, магнезия, натр и пр. Прежде всегда считали за правило комбинировать эти составные части в те или другие соли и считать, что вода содержит, скажем, соду, гипс, горькую соль, глауберовую, поваренную и т. д. Конечно, этим путем можно было давать более или менее понятные, хотя иногда и громоздкие, характеристики минеральной воды по составу. Однако уже давно было указано, что солевые комбинации суть искусственный прием перечисления данных анализа, так как в разбавленных растворах, какими являются минеральные воды, соли диссоциированы на ионы (катионы и анионы), а при кристаллизации одной и той же воды сгущением будут выделяться те или другие соли в зависимости от температуры. В природных условиях мы, напр., имеем такой случай в водах Карабугаза (залив Каспийского моря), где глауберова соль и др. выпадают в холодное время года, а в летнее растворяются, при кристаллизации же летом глауберова соль, как таковая выделяться уже не будет. Спрашивается, поэтому при анализе воды из этого залива показывать глауберовую соль, как таковую, т. е. как водный серно-кислый натр, или весь натр комбинировать с хлором, а серную кислоту относить к другим основаниям? Эти недоумения так и должны остаться. Так или иначе при толковании анализов особенно применяются: метод *Бунзена* (предложенный в 1871 году) и еще чаще метод известного аналитика *Р. Фрезениуса*. Бунзен предложил „группировать в соли основания и кислоты в том порядке, в каком соли выкристаллизовываются из раствора при свободном испарении и при одвой, установленной для всех опытов, температуре, сообразно степени растворимости находящихся в воде солей“. Фрезениус

выдвинул принцип крепости кислот и оснований, по которому более сильные кислоты соединяются с более сильными основаниями; затем следуют кислоты и основания в порядке уменьшения их крепости. Однако и в этом излюбленном методе дело обстоит далеко не просто и основной принцип обыкновенно строго не соблюдается. В случае нещелочных вод, напр., старались определять для большей уверенности в комбинациях, с одной стороны количество кальция и магния, связанных с углекислотой, а с другой стороны количества этих же элементов, соединенных с другими элементами. С этой целью минеральная вода кипятилась продолжительное время для удаления полусвязанной кислоты и определялись после того упомянутые основания, выпавшие как карбонаты, а в фильтрате часть их, оставшаяся в растворе в виде других солей. Очевидно, что при таком приеме мы не получаем правильного представления о составе солей, не говоря о том, что остающийся в растворе сернокислый кальций (гипс) при взаимодействии с выпавшим углекислым магнием при кипячении даст обменную реакцию: новую порцию углекислого кальция и сернокислый магний, переходящий в раствор... Вот почему состав одной и той же в солевых комбинациях, разным путем вычисленных, может оказаться несравнимым и только вводит в заблуждение. Мы должны поэтому всегда, кроме солевых комбинаций, давать также данные непосредственного анализа и перечисление на ионы (ниже будет приведен подробный пример для воды из Пятигорска).

После этих замечаний перейдем непосредственно к классификации минеральных вод, освещенной немногими примерами.

1. Гейзеры. Так называются периодически действующие, вскипающие минеральные ключи некоторых вулканических областей. Исключительным двигателем их является водяной пар, образующийся на глубине в столь большом количестве, что он не только вырывается через естественные выходы этих ключей наружу, но и выбрасывает вышележащую воду в виде фонтана. То же, приблизительно, происходит, если мы подогреем на горелке воду, налитую в пробирку, — образовавшийся внизу водяной пар выбросит еще незакипевшую воду наружу.

Этого рода опыт неожиданно для себя нередко производят молодые студенты в химической лаборатории... Вследствие того, что в гейзерах подток воды возобновляется вслед за каждым опорожнением на счет глубинного запаса, гейзеры действуют периодически. Гейзеры имеются в Исландии, в знаменитом Йоллоустонском национальном Парке в Северной Америке, на Новой Зеландии, Японии и Азорских островах, т. е. таких местах, где вулканические очаги или действуют и доныне или прекратили свою деятельность очень недавно. Так как в воде гейзеров заключается, между прочим, растворенная кремниевая кислота, то она мало-по-малу отлагается у его выводного отверстия, образуя конус или пологую воронку-площадку, нередко осложненную ниже по течению целым рядом красивых кремнистых же ванн, наполненных горячей водой. Поверхность этих кремнистых натеков обычно несколько бугристая, сложение тонкослойное, как вообще у ключевых, напр., известковых осадков. Периоды через которые действуют гейзеры очень различны: то они изменяются секундами, минутами, часами, то днями и даже неделями. Бывают и непрерывно кипящие ключи. Много различия также и в размерах гейзеров, правильности их действия и т. д. Большой гейзер в Исландии выбрасывает воду до высоты в 66 метров. Время его действия измерялось в

1772 г.	1805 г.	1860 г.	1883 г.	1896 г.	1905 г.
через $1\frac{1}{2}$ ч.	6 час.	4—5 дней.	20 дн.	1 день	3—8 дней.

Йоллоустонский Парк, местность открытая только в 1869 году, объявлена Соединенными Штатами национальным заповедником. Здесь имеется несколько тысяч горячих источников, среди них и настоящие гейзеры в числе более 100, отлагающие мощные толщи кремнистых туфов. Минерализация воды этих гейзеров велика: обычно около 1,2—2 грамма на литр воды. Количество кремниевой кислоты измеряется десятками

грамма, а углекислоты и того меньше. Далее вместо солей хлористых и сернокислых. Имеются также соединения бора (от 0,0198 до 0,0326 гр. буры) и мышьяка (еще меньше). Повидимому, вода, выбрасываемая американскими гейзерами, преимущественно грунтовая, хотя такой авторитет, как покойный проф. Э. Зюсс, считает гейзеры образованиями исключительно ювенильными. Дело в том, что судя по карте Йоллоустонского парка гейзеры приурочены почти исключительно к уровню грунтовых вод и очень редко поднимаются выше его. Кремниекислота выщелачивается здесь из кислой вулканической породы (риолита), к каковой гейзеры приурочены, а углекислая известь из находящихся по соседству юрских известняков.

Этим путем возникли грандиозные террасы известковых туфов из горячих Мамонтовых ключей того же парка, находящихся у края риолитового плато с гейзерами. Таким образом, вулканические очаги здесь являются лишь источником нагревания и парообразования, самая же вода не выделяется остывающей магмой, как понимал это Зюсс для своей ювенильной воды. Повидимому, этого рода явление имеет место в подавляющем, если не во всем числе случаев горячих минеральных вод. Иначе может обстоять дело с газами, особенно с углекислотой и сероводородом в таких водах—газы эти и ныне обильно выделяются вулканическими кратерами и фумаролами, чего, однако отнюдь нельзя сказать про пары воды (в последнее время *Брен* даже вовсе отрицал присутствие водяных паров в продуктах извержения вулканов, но тщательные опыты американских исследователей его более или менее опровергли).

2. Углекислые и углекисло-щелочные источники. Подобно тому, как в гейзерах движущим началом воды является давление водяного пара, так и в углекислых источниках может являться таким двигателем угольная кислота. Эта углекислота может быть растворена под известным давлением и будет освобождаться по мере поднятия струи воды по трещинам к дневной поверхности. Здесь будет происходить ее потеря, подобно тому, как это бывает в откупоренной бутылке с сельтерской водой. При откупоривании мы можем заметить и другую аналогию—вода может быть выброшена силою освобождающегося газа из бутылки, она является двигателем ее вверх. Угольная кислота особенно долго может выделяться вулканическими фумаролами (*fumare*—дымить), которые в этом специальном случае получили название углекислых фумарол или мофетт. Возможно, что эта углекислота берется из остывающей под землею магмы или выделяется под действием жара и кислоты на известняк. Так или иначе горячий или холодный углекислый газ может выделяться или как таковой, или растворяться в подземной воде, образуя минеральную воду. В Рейнской вулканической области, в 1904 году, при бурении был даже встречен на глубине 340 метров периодически выбрасывавший воду углекислый источник. Извержения достигали 50—60 метров и повторялись через каждые 3—6 часов. У нас типичными углекислыми источниками являются нарзаны Кавказа. Их известно здесь много, но лечебное значение получил только один из них и притом далеко не более крепкий—именно: нарзан Кисловодска. То, что продается как бутылочная вода, есть нарзан газированный искусственно собранной под колоколом угольной кислотой, выделяемой источником: кисловодский нарзан более слаб и сильно разбавлен поверхностными грунтовыми водами, от которых не удается его изолировать. *) Сухой остаток кисловодского нарзана большею частью колеблется около 1,7—1,8 грамма на литр, всей угольной кислоты около 2,1—2,9 грамма (из них почти вся свободная). Солевая минерализация Нарзана невелика и состоит, главным образом, из солей углекислых, сернокислых и хлористых щелочей и щелочных земель. Из более редких элементов найдены: стронций, барий, марганец, фосфор, иод, литий, фтор, бор, мышьяк, цинк и медь. Дебит Нарзана около 150 тысяч ведер в сутки. Температура воды низкая: около 13° круг-

*) См. очень интересную работу А. Н. Огильви «Каптаж Нарзана и его история». Труды Геологического Комитета, СПб. 1911, вып. 58, 234 стр. с многочисленными таблицами чертежей и анализов.

лый год. К числу углекислых или вернее углекисло-щелочных источников относятся наши эссенцукские и железнородские источники. Температура железнородских источников колеблется от 40 до 45° Цельсия. Минерализация их около 2,5 грамма на литр. В Смирновском источнике, относящемся к восточной группе, по одному из анализов, содержание

	углекислоты, связан.	0,4476 грамма
	" всей	2,1278 "
	" свободной	1,2326 " на литр
Далее Na ₂ O	0,7431 гр.	
CaO	0,3857 "	
Cl	0,2506 "	
SO ₃	0,6238 "	
FeO	0,0063 "	
и т. д.		

Смирновский источник выходит из неглубокой скважины (6 саж.), опущенной в в третичную глину. Источник № 1 на южном склоне горы Железной выходит из трещин биотитового трахита, слагающего гору, возникшую в конце третичного времени и вдвинувшуюся в виде лакколита в третичные породы.

3. Углекислосернистые и сернистые источники.

Первые источники большею частью обладают высокой температурой, содержат сероводород, слабосвязанную углекислоту, карбонаты, сульфаты и хлористый натр. Сернистые источники могут быть также холодными, при чем сероводород в этом случае не ювенильного происхождения, а образуется путем восстановления из гипса или при разрушении серного колчедана. По этой причине первые источники находятся в областях с проявлениями вулканизма, вторые—в областях осадочных пород, содержащих пласты гипса или глины с колчеданом. Углеводороды или гниющие вещества играют роль восстановителей. Сернистые источники служат почти исключительно для лечения вазеями. Эти источники, в случае, если в них много углекислой извести, способны отлагать огромные массы известкового туфа. Таковы, напр., мощные отложения туфа (травертина) горы Машук в Пятигорске, идущего как строительный материал и отличающегося красивым сложением. Примером горячих источников этого типа могут служить источники Пятигорска: Александро-Ермолаевский, Сабанеевский и Товиевский. Первый дает около 60 тысяч ведер в сутки, второй 55 тыс., третий около 6 тыс. ведер. Температура их 46°—50° Ц. Анализ Э. Э. Карстенса характеризует воду первого источника таким образом.

Проба взята 24 февраля 1910 года.

В одном литре воды содержится:

окиси	лития	0,000397
"	натрия	1,3760
"	калия	0,00726
аммиака		0,00136
окиси	магния	0,1046
"	кальция	0,6231
"	стронция	0,00544
"	бария	0,000002
"	свинца	0,000011
"	цинка	0,000086
закиси	марганца	0,00023
"	железа	0,00034

окиси алюминия	0,00082
фтора	0,000239
хлора	1,0562
брома	0,00489
иода	0,000226
ангидрида серной кислоты	0,6859
„ серноватист. кисл.	0,00087
„ фосфорной кислоты	0,000066
„ мышьяковой кисл.	0,000018
„ борной кислоты	0,00344
углекислоты всей	2,1713
„ связанной	0,5822
„ свободной	1,0069
сероводорода всего	0,1076
„ связанного	0,00021
„ свободного	0,1023
кремневого ангидрида	0,0559
органических веществ	0,00304
<hr/>	
сухого остатка (высушенного при 180° Ц).	4,3420

Этот же анализ представленный в ионах (предполагая полную диссоциацию солей).

Катионы:	
лития	0,000186
натрия	1,0215
калия	0,0603
аммиака	0,00144
магния	0,0631
кальция	0,4450
стронция	0,00460
бария	0,000018
свинца	0,000010
цинка	0,000069
марганца	0,00018
железа	0,00026
алюминия	0,00043
Анионы:	
фтора	0,00024
хлора	1,0562
брома	0,00489
иода	0,000226
сульфатного иона (SO_4)	0,8230
тиосульфатного иона (S_2O_3)	0,00102
гидро-сульфидного (HS)	0,00021
гидро-фосфатного (HPO_4)	0,00089
гидро-мышьякового	0,000022
гидро-карбонатного	1,6143
метакремневой кислоты	0,0726
борной (HBO_2)	0,00433
свободной (CO_2)	1,0069
свободн. сероводорода (H_2S)	0,1029

углекислоты свободной, по
объему в куб. см., на литр 512,60
тоже полусвободной 296,25

Та же вода при вычислении соответствующих солей в виде простых углекислых:

хлористого лития	0,00112
» калия	0,1149
» аммония	0,00427
» натрия	1,6466
бромистого натрия	0,00630
иодистого натрия	0,000267
сернокислого натрия	1,1414
серноватистокислого натрия	0,00143
сернистого натрия	0,00049
сернокислого магния	0,0648
углекислого кальция	1,1118

и т. д.

По этой комбинации мы видим, что из солей характерными для пятигорских терм являются углесоль кальция, глауберова соль (сернокислый натрий) и хлористый натрий. Для того, чтобы иметь возможность определить ряд элементов, встречающихся в небольшом количестве и здесь показанных (таковы бор, мышьяк, фосфор, фтор, цинк, свинец и др.), Э. Э. Картенс употреблял для анализа около 400 литров воды.

Исследования д-ра Н. А. Орлова на Машуке обнаружили нахождение борнокислого минерала датолита, судя по внешнему виду и залеганию жилами, возникшего, несомненно, из горячих вод, действовавших на известняк. Таким образом ничтожные сами по себе количества борной кислоты в воде горячего источника, благодаря продолжительному взаимодействию с известняком, повели в конце концов к заметной концентрации борной кислоты в одном месте, ибо минерал этот содержит:

кремнезема	35,74—39,49
борного ангидрида	20,84—22,60
извести	33,81—35,60
воды	5,09— 6,14 %.

В генетическом отношении понятно, опираясь на анализы воды, нахождение темных марганцевистых прослоек в отложениях известкового травертина Пятигорска, равно как и нахождение в нем же небольших количеств мышьяковистокислого и фосфорнокислого кальция.

В этих прослойках по анализам Н. А. Орлова оказались такие количества окиси железа и перекиси марганца:

окиси железа	5,56	2,73	6,07	0,84	1,97
перекиси марганца	22,07	4,36	6,25	1,69	2,56.

Остальное приходится, главным образом, на углекислый кальций. Можно думать, что соединения железа и марганца были первоначально в форме углесоей (карбонатов) закиси, затем они распались на углекислоту и закись, окислившуюся под влиянием кислорода воздуха с одной стороны в окись железа, с другой—в перекись марганца.

Этот процесс нам хорошо известен в области рудных месторождений. Остается еще сказать несколько слов по поводу нахождения в нашей воде некоторых количеств свинца и цинка. Возможно, что на глубине имеются отложения свинцового блеска и цинковой обманки, т. е. руд, встречаемых так часто в Терской области, к каковой и относится Пятигорск. Намек на правильность такого предположения для района Пятигорских минеральных вод, может быть, служит недавняя случайная находка каустика свинцового блеска в известняках, встреченного при рытье фундамента для нового дома. Говоря о горячих источниках, нельзя обойти молчанием случай недавнего обра-

зования целого ряда рудных минералов в одном из таких источников во Франций. Источник этот эксплуатировался с лечебными целями еще древними римлянами, которые бросали в благодарность за свое исцеление в колодец с горячей водой различные монеты, преимущественно бронзовые, но также серебряные и золотые. От взаимодействия сероводорода с металлами, в том числе со свинцовыми трубами, подводившими воды, и возникли различные кристаллические минералы, характерные для рудных месторождений. Так, здесь были определены: свинцовый блеск, медный блеск, пирит, медный колчедан, пестрая медная руда, тетраэдрит, атакамит, англезит, (сернистый свинец) и др. В этом и других источниках в кирпичах римской кладки нашлись водные силикаты (шабазит, гармотом, мезолит, апофиллит), также опал и халцедон. Любопытно, что источник с рудными минералами является главным образом минерализованным хлористым натром и в небольшом количестве гипсом. *) Сероводород в нем образовывался из гипса под влиянием гниющим веществ, найденных на дне римского колодца и состоявших из дерева, орехов, косточек фруктов и т. п. Температура его воды 65° Ц. К холодным сернистым источникам относятся Мацестинские (в 9 верстах от Сочи Черноморской губернии), Сергиевские в Самарской губернии, Буские Келецкой губернии, Кеммерские на границе Лифляндии и Курляндии и очень много других. В свое время было указано, что артезианские воды могут содержать сероводород (таковы меловые и подюрские воды Киева).

4. Железные источники без свободной углекислоты и всегда холодные. В них находятся закисные соединения железа. Эксплуатируются эти источники мало, хотя имеют широкое распространение в поверхностных геологических образованиях, особенно в наносах вблизи болот и торфяников. В конце концов железо выпадает в виде гидрата, образующего прослойки, гнезда, бобовые и дерновые руды.

5. Хлористые или соленые источники. Почти всегда это источники холодные. Минерализуются они в пластах осадочных пород, содержащих залежи каменной соли. Таковые, как известно, особенно часто наблюдаются в системах: пермской, триасовой и третичной. Наши Старо-Русские воды минерализуются в девоне. В них же содержатся сульфаты, прежде всего гипс, в меньшем количестве горькая соль и др. В исключительных случаях воды эти могут быть богаты также хлористым калием, или содержать некоторую примесь иодистых и бромистых солей. В последнем случае нередко получается новое громкое наименование. Так, среди Пескупских минеральных вод Кубанской области выделяют соленобромо-иодистый источник, содержащий наряду с 6—14 граммами хлористого натра 0,00059—0,05790 грамм бромистого натра и 0,00086—0,06400 иодистого натра.

6. Сернистые источники. Минерализующими солями бывают сульфаты кальция (гипс), магния (горькая соль) или натрия (глауберова соль). По анализу господствующей составной частью является сульфатный пов. Воды с сернистым магнием и натрием могут употребляться в медицине (слабительное действие). Особое положение занимают сульфатные воды, возникающие в некоторых металлических и каменно-угольных рудниках. Воды эти могут содержать свободную серную кислоту и сульфаты железа, меди и цинка. Серная кислота и упомянутые сульфаты возникают здесь от окисления первичных руд пирита, медного колчедана, цинковой обманки и др.

7. Борноислые и азотноислые воды. Воды эти принадлежат к числу очень редких. Один анализ воды Steamboat Springs в С.-Америке показал содержание 11,5% буры. У нас в России борная кислота (вернее бора) доказана в воде грязевых сопок и в некоторых источниках Кавказских минеральных групп. Источник Бур-Хана, находящийся в Олтинском округе Карской области, содержит бору в сравнительно больших количествах. Здесь даже была добыча буры. По типу это соленощелочная вода с содержанием также значительного количества глауберовой соли. В.

*) На литр воды 5,12 грамм. хлористого натра и 1,38 гр. гипса.

Хлопин определил количество буре 1,88—1,90 грамма на литр воды. Азотнокислые соли имеются во многих водах, но в ничтожном количестве и считаются образовавшимися на счет разложения органических веществ. В исключительных случаях в районах безводных местностей с залежами селитры они могут образовать растворы более концентрированные и даже быть вулканического происхождения. Такого, по крайней мере, придерживается мнения *О. О. Ваклунд* на счет образования знаменитых залежей селитры в Чили.

8. Грязевые сопки. Свообразный вид источников представляют собою грязевые сопки, известные у нас на полуостровах Апшеронском, Керченском, Таманском, и др. местах, где находится нефть. Сопки представляют собою конусообразные, разной величины и степени крутизны, возвышения из грязи, напоминающие по внешнему виду небольшие вулканы. Обычно в них имеется одно или более отверстий (кратеров), из которых вытекает грязь и выделяются через взмученную в воде грязь большие пузыри газа. Газ этот представляет собою главным образом углеводород метан. Он то и является тем двигателем, который выбрасывает грязь или заставляет ее вытекать. Грязь смешана с водою, иногда отстаивающейся и отдельно в кратерном озере. Воды эти бываю минерализованы главным образом хлористым натром, но также содержат и другие соли и представляют собою воду грунтовую, увлеченную газом, поднимающимся из глубины по скрытым трещинам. Извержение сопки иногда бывает настолько внезапным, бурным, что напоминает извержение настоящих вулканов, с которыми, однако, они ничего общего не имеют. Сходство еще увеличивается, если извержение сопровождается самовозгоранием газов и подземным гулом. Из катера могут вылетать камни.

9. Индифферентные (безразличные) термы. Они отличаются высокой температурой и очень слабой минерализацией. Таковы Абастуманские воды (температура 41°—49° Ц.) и др.

Заканчивая эту главу, не могу не посоветовать читателю ближе ознакомиться с очерком геолога Геологического Комитета *А. П. Герасимова* под заглавием „Минеральные воды“ в томе IV „Естественные Производительные силы России“, „Полезные ископаемые“ (изд. Комиссия при Академии Наук, Петроград 1917 г.). Особенно для медика представляет интерес об'емистая книга *Л. Бертенсона* „Лечебные воды, грязи и морские купанья“, 4 изд., СПб. 1901 (изд. *Риккера*). В книге этой собрано много химических анализов.

Химический анализ вод.

Описание приемов химического анализа не входит в задачи гидрогеологии, но так как этого рода вопросы возникают непременно перед каждым полевым работником, то в самых общих чертах приходится сказать и о них несколько слов. За всеми подробностями придется отослать к специальным руководствам по анализу *).

Химические исследования ведутся главным образом в лаборатории, частью же

* На русском языке можно, напр., указать на такие работы:

В. А. Волжсин. Анализ воды. Практическое руководство к физическому и химическому исследованию вод питьевых и для технических надобностей. Екатеринослав, 1912 (книжка в 369 стр.).

Проф. А. Лидов. Химический анализ воды, Москва 1916 (брошюра в 58 стр.).

С. В. Моисеев. Санитарно-химический анализ питьевой воды для врачей, студентов и пр. под ред. Л. Г. Спасского (VIII—112 стр.) Юрьев, 1911. Изд. автора.

М. О. Лейтон. Полевые испытания воды. Изд. Отд. Зем. Улучшений, СПб. 1914 (брошюра в 65 стр.).

Инструкция для производства полевого анализа воды. Изд. Отд. Зем. Улучшений, СПб. 1914 (брошюра в 21 стр.).

Г. В. Хлопин. Химические методы исследования питьевых и сточных вод. Практическое руководство (X+246 стр.+1 таб.). СПб. 1913. Изд. *Риккера*.

А. Я. Щербаков. Качественный и количественный анализ вод, употребляемых для питья (XIV+19+522 стр.). СПб. 1877. Главное Военно-Медицинское Управление. (Способы санитарных исследований).

на месте, в поле. В последнем случае обычно применяется набор реактивов, особенно удобно в форме таблеток, который позволяет производить и количественные определения. Определения на месте необходимы иногда во избежание потерь или изменения той или другой интересующей нас составной части, напр., зависящих соединений железа, сероводорода и др. Выработанные в Америке приемы полевого анализа воды дают возможность делать следующие определения: мутность, цвет, жесткость, щелочность, содержание железа, хлора, серной кислоты и кальция.

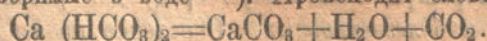
Сухой или плотный остаток. Под этим именем разумеют количество растворенных в испытуемой воде веществ, полученных выпариванием одного литра воды. Остаток этот сушат, а иногда еще и прокалывают. Механические примеси определяются отдельно. Хорошая питьевая вода при выпаривании на-сухо дает только очень незначительный осадок белого цвета, который почти не изменяется при прокаливании, что указывает на незначительное содержание в нем органических веществ. Если в нем много органических веществ, то остаток приобретает буроватый цвет и издает запах жженных перьев, при прокаливании обугливается. Остаток дается обычно в миллиграммах (тысячные доли грамма) на литр (1000 куб. см.—1 килограмм) или на 100 куб. см. воды.

Жесткость воды. Жесткость обуславливается содержанием в воде растворенных в ней солей щелочноземельных металлов: кальция и магния. Соли эти бывают представлены карбонатами (углекислые соли) и сульфатами (сернокислые соли). У нас принят за меру жесткости немецкий градус. Это миллиграмм извести (и перечисленной на известь окиси магния путем умножения ее весового количества на 1,4) на 100 куб. см.—100 тысяч миллиграммов взятой воды *).

Французский градус жесткости равен 1 миллиграмму карбоната кальция на то же количество воды. Англичане принимают за градус 1 миллиграмм извести на 125 тысяч миллиграммов воды. Иначе говоря, соответствуют:

100 английских градусов	80 немецким
100 французских „	56 „
100 „ „	70 английским.

Определение жесткости воды ведется с помощью титрованного спиртового раствора калийного мыла или с помощью таблетки из олеиновокислого натра с определенным содержанием реактива. По числу употребленных таблеток на известный объем воды и их величине и определяют жесткость. Параллельно с этим определением общей жесткости бывает очень важно знать, преобладает ли в воде так называемая „временная“ жесткость или же „постоянная“, иначе называемая „остаточная“. С этой целью кипятят определенный объем воды. Если при этом выпадает обильный осадок, значит в воде преобладает временная жесткость. Явление объясняется тем, что при кипячении теряется часть углекислоты, бывшей в слабом соединении с карбонатами кальция и магния. Карбонаты эти из бикарбонатов переходят в монокарбонаты, много хуже растворимые в воде **). Происходит словом такая реакция:



Вот почему отличают в водах углекислоту связанную, полусвязанную и, наконец, свободную, как то бывает, напр., в нарзанах и многих мягких водах. Если над карбонатной жесткостью преобладает жесткость сульфатная, вызванная наличием в воде гипса или горькой соли (сервокислого магния), то кипячение жесткости такой воды не изменит. Хорошая питьевая вода должна иметь жесткость не выше 12° и лишь в исключительных случаях 20°. Предпочтительнее, чтобы жесткость была временная, а не постоянная.

Серная кислота. Качественные и количественные определения делаются с по-

*) 10 mgr. на литр или 1 гр. на 100 литров (8,13 ведра).

**) Так, в 1 литре воды, лишенной углекислоты, растворяется всего 24 mgr. CaCO_3 и 118 mgr. MgCO_3 .

мощью хлористого бария: получают из воды белый осадок сернокислого бария, который учитывают по весу или по объему. Предельная допустимая норма 120 мгр. SO_2 на литр.

Хлор. Применяют азотнокислое серебро в растворе или в таблетках и титруют в присутствии хромво-кислого калия. Изменение цвета раствора из желтого в красный служит признаком окончания реакции. Воды, содержащие хлористые соли, при приливании раствора азотнокислого серебра дают белую муть и осадок. Количество хлора в естественных водах изменяется в широких пределах и установить норму в этом отношении представляется затруднительным. *) Если вместе с значительным содержанием хлора, вода содержит также и азотно-кислые соли, то это обстоятельство заставляет считать воду подозрительною (примесь мочи и пр.), а если кроме того в ней много органических веществ и окисляемость ее значительна, то, конечно, такая вода для питья совершенно непригодна. Наличие хлористых солей, в природе почти исключительно поваренной соли, узнается за известным пределом по солоному вкусу. При остром вкусе такая солоноватость улавливается при содержании хлора не менее 700 миллиграммов на литр.

Сероводород. Обнаруживается по запаху тухлых яиц или при помощи бумажки, смоченной уксуснокислым свинцом: при действии газообразного сероводорода на такую бумажку происходит ее почернение, вследствие образования черного сернистого свинца. Этого рода реакция к ужасу дам происходила в белилах на их лице в курортах, где применяются сернистые воды—прежде белила эти изготовляли из углекислого свинца.

Азотистая кислота. Азотистая кислота и азотистокислые соли являются продуктами распада белковых веществ и потому присутствие их является одним из признаков загрязнения воды животными отбросами. Доброкачественная вода не должна содержать и следов азотистой кислоты. Качественное испытание делают или употребляя иодистый калий с крахмалом, или метафенилендиамин. Реакция в обоих случаях цветная.

Азотная кислота. Определение производится посредством дифениламина с серной кислотой или дисульфогеноловой кислотой. Реакция цветная. Допустимое содержание азотной кислоты в питьевой воде во всяком случае не должно быть более 5—10 мгр. на литр.

Аммиак. Определение присутствия аммиака производится посредством реактива Несслера (щелочный раствор иодной ртути в иодистом калии). В доброкачественной воде допустимы только следы аммиака и то лишь при условии отсутствия в воде азотистой кислоты.

Окисляемость. Окисляемость или то количество кислорода, которое необходимо для сжигания органических веществ, находящихся в воде, характеризует воду весьма важно с санитарной точки зрения: дело в том, что органические вещества и особенно белковые представляют хорошую питательную среду для развития всякого рода микроорганизмов в том числе и болезнетворных. Окисление производят марганцево-кислым калием определенной концентрации и по его количеству вычисляется, сколько пошло на процесс окисления кислорода, как такового. Для характеристики того, насколько один химический анализ (без бактериологического) способен дать нам критерий в оценке питьевой воды с санитарной точки зрения, приведу результаты детального обследования (сделано 175 анализов) питьевых вод Данковского уезда, Рязанской губернии, произведенные *Н. А. Поповым* в связи с заболеваемостью населения этих мест брюшным тифом и дезинтерией по данным земской статистики. **) Попов остановился

*) В инструкциях нашего Министерства Земледелия она принята в 150 и в исключительных случаях до 500 мгр. на литр.

**) Северо-Кавказский Мелиорационный Бюллетень, Новочеркасск, 1918, № 12, стр. 211—213.

на следующих нормах (цифры в миллиграммах на литр): хлора—60,0; окисляемость 7,5 кислорода; аммиака и азотистой кислоты по 0,1.

По категориям распределялись не питьевые источники, а селения и при том таким образом:

I категория—селения с весьма загрязненной питьевой водой, т. е. содержащей хлор, аммиак, азотистую кислоту и органические вещества (по окисляемости) не ниже предельных норм.

II категория—селения с сильно загрязненной водой, т. е. содержащей какие-либо три из вышеупомянутых компонентов не ниже предельных норм.

III категория—селения с загрязненной питьевой водой, т. е. содержащей не менее 2-х подобных же компонентов не ниже предельных норм.

IV категория—селения с довольно загрязненной питьевой водой, соответственно с 1 компонентом.

V категория—селения с мало загрязненной питьевой водой, т. е. содержащей аммиак или азотистую кислоту, или то и другое ниже предельных норм.

VI категория—селения с чистой водой, т. е. не содержащей также и аммиака и азотистой кислоты.

Если теперь взять каждую категорию отдельно и вычислить, какой процент из всего числа селений приходится на селения, где были отмечены кишечные заболевания, то мы получим следующие цифры:

I группа	100 %
II	73,3
III	59,3
IV	57,6
V	40
VI	0

Закономерная зависимость вполне очевидна.

Радиоактивность вод.

Со времени открытия так называемых радиоактивных элементов (радия, тория, актиния, полония и др.) было найдено, что эти тела и продукты их распада очень широко распространены, но встречаются в ничтожнейших количествах. Весовым способом определить их количество нет никакой возможности, если идет речь не о специально радиоактивных минералах, а о различных горных породах, водах, воздухе и т. д. Для этого существуют методы электрические, основанные на том, что наличие радиоактивных веществ изменяет проводимость воздуха, ионизируя его. Вот порядок тех цифр, которые здесь получают, и которые служат предметом нередко шарлатанских восхвалений лечебного действия тех или других минеральных вод и грязей. По Стретту содержание радия в различных изверженных горных породах колеблется между 0,31 и 4,78 миллиардных грамма на грамм вещества, в осадочных—между 0,12 и 2,92 миллиардных. По Флетшеру в осадочных породах это количество еще меньше: от 0,8 до 1,5 миллиардных. Теперь обычно измеряют степень радиоактивности в единицах *Махе*. Единица *Махе* есть такая концентрация эманации*), заключающаяся в литре воды, которая способна произвести ток, равный 0,001 электростатических единиц. На Международном Съезде по радиологии в 1910 году было решено уста новить для определения радиоактивности международную единицу, признав за таковую количество эманации, находящееся в равновесии с 1 граммом металлического радия и присвоить ей наименование „кюри“. Вместе с тем, в виду слишком большой вели-

*) Эманация (досл. истечение) или точнее радиевая эманация— нитон представляет собою газ с очень высоким атомным весом который возникает при распаде атомов радия с одновременным образованием газа гелия и ряда радиоактивных элементов.

чины этой единицы для некоторых измерений признано необходимым установить единицы меньшие: тысячную и миллионную части „кюри“ с названием „милли-кюри“ — „микро-кюри“. Для измерения радиоактивности вод пришлось пользоваться единицей еще в 1000 раз меньшей „микро-кюри“, так называемой „миллимикрокюри“. Таким образом 1 единица Махе = 370—465 биллионных кюри (0,370—0,465 миллимикрокюри). Такое колебание цифр объясняется тем, что не все авторы согласны, как сравнивать эту единицу с величиною кюри *).

Наиболее радиоактивные воды выходят по преимуществу из гранитных пород. Из лечебных источников следует считать радиоактивными лишь те, которые по содержанию эманации во много раз богаче, чем обыкновенная вода и воздух. *Норден и Бертенсон*, автор книги „Радиоактивность в лечебных водах и грязях“ (СПБ 1914), разделяют источники по степени радиоактивности следующим образом: 1) сильно-радиоактивные источники, содержащие 100 единиц Махе и больше; 2) умеренно-радиоактивные источники, содержащие 50—100 ед., и 3) слабо-радиоактивные источники, содержащие 20—50 ед. Источники, в которых заключается менее 20 ед. в литре радиоактивными называться не могут. Следует иметь в виду, что радиоактивность воды с течением времени теряется и может совсем исчезнуть. Некоторую радиоактивность показывают и осадки из радиоактивных источников. К числу источников, радиоактивность которых исключительно велика, относится Брамбахский в Германии (до 2270 ед. в литре) и вода Иоахимова (Иоахимсталь) в Рудных горах в Чехии, где ведется добыча урановой радиоактивной руды **) (до 2884 ед. в литре). У нас в России в районе Эльбруса в 1910 г. был встречен Ингушский источник с радиоактивностью, по *Э. Э. Карстенсу*, 1299 ед. Махе. При проверке на следующий год оказалось, что была грубейшая ошибка — вода оказалась едва радиоактивной.... Вообще нужно сказать, что в России радиоактивность минеральных вод очень не велика, так что радиоактивность Пятигорских источников в 50—55 ед. Махе уже является высокою. Радиоактивность Железноводских вод 1,3—8,6 ед. Махе, Кисловодского Нарзана 4,7 ед., Ессентукских вод 0,41—1,3 ед., Тифлиских горячих вод от 0,06 до 2,77 и т. д. Как можно видеть, согласно выше данному определению воды эти даже нельзя причислить к радиоактивным. По измерениям *И. А. Багашева*, требующим впрочем проверки, источник Ямкун в Забайкальи имеет радиоактивность 247 ед. Махе, а Молоковка даже 290 ед.

Вилсон (C. T. R. Wilson) первый доказал, что выпадающий дождь и снег увлекают собою из атмосферы радиевую индукцию. Это затем было подтверждено рядом исследователей в том числе *Алленом, Нуфманом, Констанцо с Негро* и др. Оказывается, что снег, будучи переведен в соответственное количество воды, превосходит по своей радиоактивности во много раз таковую же дождевой воды. Объясняется это явление тем, что по объему снежные хлопья являются сравнительно с дождевыми каплями значительно более крупными. Его активность, как и дождевой воды, исчезает почти нацело часа через два. При лежании снега на почве радиоактивность его сохраняется несколько дольше и даже может возобновиться от богатого эманацией почвенного воздуха.

Новочеркаск.

Кабинет Прикладной Геологии
Донского Политехнического Института.

*) Петроградский радиолог *Л. С. Коловрат—Червинский* считает 1 кюри = $2,89 \cdot 10^9$ ед. Махе (см. Труды Радиевой Экспедиции Имп. Акад. Наук, № 8, Петроград 1916, стр. 5).

**) Это единственное в мире по богатству урановой рудой (урановая смоляная руда, настуран) месторождение. Ежегодно здесь добывается самое большее 18 тонн этой руды, из которых можно извлечь едва три грамма хлористого радия (см. *В. Вернадский* „О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской Империи“, Труды Радиевой Экспедиции Им. Акад. Наук, № 1, Петроград 1914, стр. 8).

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Введение. Гидрология и ее подразделения	3— 5
Общее количество подземных и надземных вод	5— 7
Водоємкость и водопроницаемость. Классификация горных пород по этим свойствам	7—10
Капиллярное поднятие	10—11
Гигроскопичность пород	12—13
Коэффициенты стока, испарения и поглощения	13—16
Законы движения воды в песках	16—18
Движение воды в трещиноватых породах	18—19
Морфология и гидрология карстовых областей	19—21
Приемы определения скорости движения подземных вод	21—22
Определение простирапия и падения водоносного слоя. Гидрогеологические карты и профили	22—25
Влияние дренажа	25—26
Оползни и оплывины	26—27
Некоторые частные случаи залегания и передвижения грунтовых вод	27—29
Причины колебания уровня грунтовых вод	29—32
Гидрологическая роль растительности	32—38
Артезианские воды	38—42
Определение дебита грунтовых вод и артезианских ко- лодцев	42—46
Указания к описанию колодцев и скважин	46—47
Артезианские (и грунтовые) воды Европейской России	48—57
Способы образования грунтовых и артезианских вод	57—61
Минеральные воды. Предварительные замечания	61—62
Температура минеральных вод	62—63
Основы классификации минеральных вод	63—70
Химический анализ вод	70—73
Радиоактивность вод	73



Торговый Отдел Р^н_д. Госиздата.

Перечень книг по технике.

Арский.	Металл и его значение в РСФСР	п. шт. ГИЗ	1920 г. 21 стр. ц. 2 ¹ / ₂ к.
Грауде.	Минеральное топливо Значение водного транспорта и наше судостроение.	п. шт. ГИЗ	1920 г. 32 стр. ц. 5 к.
Виндельбот.	Значение металлургической промышленности.	М. шт. ГИЗ	1921 г. 16 стр. ц. 1 ¹ / ₂ к.
— —	Зачем нужна, и как может быть устроена проходная баня.	М. „	1920 г. 8 12 стр. ц. 15 к.
Зуев П.	Значение угольной промышл.	М. „	1921 г. 16 стр. ц. 1 ¹ / ₂ к.
„	Угольная промышленность и ее положение.	М. „	1921 г. 16 стр. ц. 1 ¹ / ₂ к.
Нислянский.	Как советская власть хочет облегчить и украсить жизнь крестьянина (об электрич. силе в деревне).	М. ГИЗ	1921 г. 16 стр. ц. 1 ¹ / ₂ к.
Кржижановский Г. Н.	Об электрификации (речь на 8-м съезде советов).	М. ГИЗ	1921 г. 40 стр. ц. 9 к.
Лацис (Судрадс).	Значение соляной промышл.	карта М. ГИЗ	1921 г. 20 стр. ц. 2 к.
Левенстеон.	Возрождение промышленности	М. Изд. ВСНХ.	1918 г. 32 стр. ц. 2 ¹ / ₂ к.
Менчиковский.	Работы по товароведению с 82-ю рисунками в тексте.	Изд. пор. Одесса	1913 г. 136 стр. ц. 27 к.
Сергеев И.	Внешняя торговля и водный транспорт.	М. ГИЗ	1921 г. 20 стр. ц. 2 ¹ / ₂ к.
Фейн.	Варка пищи без огня.	М. ВСНХ	1918 г. 48 стр. ц. 3 к.
Фидель А. и Фельдман А.	Краткое руководство по физической химии.	Изд. Ива-сенко	180 стр. ц. 30 к.
Филеппео.	Проект водоснабжения и электр. освещения Рост. порта.	Р. в/Д. Акц. печатня	1904 г. 134 стр. 10 ч. ц. 15 к.
Харичков.	Горючие и смазочные материалы (Автомобильное материаловедение).	Р. в/Д. Единоение.	1919 г. 32 стр. ц. 12 к.
„	Краткий учебник по Микрохимии.	Р. в/Д. Единоение.	1919 г. 20 стр. 10 к.

Цены книгам (в золотой довоенной валюте, расчет по курсу для расчета расчетными дензнаками).

С требованиями обращаться в Торговый Отдел Госиздата Ростов в/Д. ул. Фр. Энгельса (Б. Садовая 106).

Изгородние заказы исполняются по получении всей стоимости книг и пересылки, разница которой определяется 5%, стоимости заказа. Книгопродавцам обычная уступка.

